

宜昌市无闸门控制水库渡汛可抗雨量分析方法探讨

覃好芬 陈璐 徐克兵

湖北省宜昌市水文水资源勘测局, 中国·湖北 宜昌 443003

摘要: 中小型无闸门控制水库在安全度汛中, 可抗雨量是最直观的预测指标。在实际运行过程中, 当无闸门控制水库水位达到堰顶高程及正常蓄水位时, 水库可抗雨量会呈现显著的动态变化特征。特别是在流域持续遭受暴雨侵袭, 水库处于自由泄洪状态的复杂情况下, 其可抗雨量的动态演变受到入库流量、泄洪能力、下垫面条件等多因素耦合影响。论文综合运用水文统计分析、数值模拟等方法, 系统构建了该动态情形下可抗雨量的研究框架, 深入剖析各影响因子的作用机制。研究成果以期为宜昌市境内区域中小型无闸门控制水库渡汛提供科学、精准的预测参考, 助力提升当地防汛应急管理的科学性与有效性, 为保障人民生命财产安全筑牢技术防线。

关键词: 无闸门; 水库; 可抗雨量; 分析方法; 探讨

Discussion on the Analysis Method of the Rainfall Resistance Capacity of Reservoirs without Gate Control in Yichang City

Haofen Qin Lu Chen Keping Xu

Yichang Hydrological and Water Resources Survey Bureau, Hubei Province, Yichang, Hubei, 443003, China

Abstract: The ability to withstand rainfall is the most intuitive predictive indicator for safe flood control in small and medium-sized reservoirs without gates. In actual operation, when the water level of the reservoir without gate control reaches the crest elevation and normal storage level, the reservoir's ability to withstand rainfall will show significant dynamic changes. Especially in the complex situation that the basin continues to suffer from rainstorm and the reservoir is in a free flood discharge state, the dynamic evolution of its rainproof capacity is affected by the coupling of inflow, flood discharge capacity, underlying surface conditions and other factors. The paper comprehensively uses hydrological statistical analysis, numerical simulation and other methods to systematically construct a research framework for the resistance to rainfall under this dynamic situation, and deeply analyzes the mechanisms of various influencing factors. The research results aim to provide scientific and accurate prediction references for the flood control of small and medium-sized reservoirs without gates in Yichang city, help improve the scientificity and effectiveness of local flood control emergency management, and build a technical defense line to ensure the safety of people's lives and property.

Keywords: without gate; reservoir; rainfall resistance capacity; analysis method; discussion

0 前言

中小型无闸门控制水库在防洪减灾、水资源调节等方面发挥着重要作用, 其安全度汛关乎周边地区人民生命财产安全以及社会经济的稳定发展。在众多影响水库安全度汛的因素中, 可抗雨量是一个核心指标, 它直接反映了水库在特定蓄水位下抵御洪水的能力。准确分析和掌握可抗雨量, 对于合理制定水库调度方案、提前做好防汛准备工作具有不可替代的意义。宜昌市境内地形复杂, 气候多样, 中小型无闸门控制水库数量众多, 不同区域的水库面临着不同的洪水风险。因此, 深入研究适合宜昌市的无闸门控制水库渡汛可抗雨量分析方法, 具有很强的现实针对性和紧迫性。

1 水库抗雨能力

水库的抗暴雨能力(以下简称抗雨能力), 是指在某一蓄水位下, 能够安全防御多大洪水不出险。如果水库水位

很低, 空库容很大, 说明这时的抗雨能力强, 能拦蓄较多洪水; 否则, 若连续降雨, 水库水位已蓄较高, 空库容较小时, 水库的抗雨能力较低, 因而防洪风险增大。对已建成水库, 它的抗雨能力主要取决于当时的水库水位。

2 库水位位于正常蓄水位以下至正常蓄水位可抗雨量分析

假设某一洪水过程最大不超过正常高水位(或堰顶高程), 不同的现实水位 Z 现, 由库容曲线查得相应的现实库容 V 现, 可蓄洪的库容 V 蓄等于正常库容减去现实库容^[1]。

公式:

$$V_{\text{蓄}} = V_{\text{正}} - V_{\text{现}} \quad (1)$$

则水库坝址以上流域平均允许最大雨量为:

$$R_{\text{净}} = V_{\text{蓄}} / F \times 10 = (V_{\text{正}} - V_{\text{现}}) / F \times 10 \quad (2)$$

$$P_{允许} = f(R_{净}, P_a) \tag{3}$$

式中： $R_{净}$ 为抵御的最大净雨量，以 mm 计； $V_{蓄}$ 为蓄洪的库容， $104m^3$ ； F 为流域面积， km^2 ； P_a 为流域前期影响雨量，mm；其他同上。

考虑宜昌市不同区域的降雨特性、产汇流特性以及土

壤、森林植被等差异，将全市水库可抗雨量分析划分为四个片区：远安为第一片区；当阳、枝江、高新区（白洋）为第二片区；夷陵区、伍家岗区、西陵区、猇亭区、高新区（善溪冲）、兴山县为第三片区；宜都、长阳、五峰、点军、秭归为第四片区。对各片区的情况下场次降雨径流拟合情况进行概化，得到表 1 成果。

表 1 水库可抗雨量分析各片区不同 p_a 情况下场次降雨径流拟合成果表
(y 为毛降雨量 mm, x 为 $R_{净}$ mm)

片区	第一片区	第二片区	第三片区	第四片区
片区含行政区域情况	远安县	当阳、枝江、高新区（白洋）	夷陵区、伍家岗区、西陵区、猇亭区、高新区（善溪冲）、兴山县	宜都、长阳、五峰、点军区、秭归县
P_a 最大值（mm）	70	75	70	75
P_a 小于等于 30mm 时，降雨径流拟合	$y=13.374x0.5562$	$y=35.721x0.3067$	$y=26.478x0.3215$	$y=5.4921x0.77$
P_a 大于 30mm，小于等于 50mm 时，降雨径流拟合	$y=45.492\ln(x)-71.22$	$y=19.584x0.4363$	$y=8.6997x0.5905$	$y=5.0421x0.7269$
P_a 大于 50mm，小于等于最大 P_a （70mm 或 75mm）时，降雨径流拟合	$y=6.3674x0.6593$	$y=8.7378x0.5525$	$y=3.9347x0.7941$	$y=3.5522x0.7797$

3 水库可抗雨量分析方法实例研究——以当阳皮家湾水库为例

3.1 皮家湾水库所在流域概况，水库洪水标准

当阳皮家湾水库位于当阳市王店镇严河村境内，坝址以上承雨面积 $F=0.76km^2$ ，总库容 13.33 万 m^3 ，多年平均降雨量 994.6mm。该水库防洪标准采用 20 年洪水设计，200

年洪水校核，溢洪道为开敞式，堰顶高程 172.2m，与正常蓄水位齐平，堰型为宽顶堰，进口底部净宽 4m。当库水位超过 172.2m 时，溢洪道开始按泄洪能力自由泄洪^[2]。

3.2 皮家湾水库各频率暴雨瞬时单位线洪水过程线计算成果

皮家湾水库 13 种频率暴雨瞬时单位线洪水过程线计算成果见表 2。

表 2 皮家湾水库 13 种频率暴雨瞬时单位线洪水过程线计算成果

时段 / 频率 ($\Delta t=0.5h$)	0.33	0.4	0.5	0.667	1	2	3.33	5	10	20	33.33	50	100
1	2.67	2.56	2.46	2.36	2.15	1.85	0.64	0.63	0.43	0.33	0.32	0.22	0.11
2	3.40	3.29	3.08	2.98	2.78	2.38	1.15	1.04	0.84	0.64	0.52	0.32	0.22
3	3.72	3.61	3.41	3.21	3.00	2.60	1.56	1.45	1.15	0.84	0.63	0.53	0.32
4	4.15	4.04	3.84	3.64	3.33	2.92	1.97	1.76	1.35	1.05	0.84	0.64	0.32
5	5.38	5.17	4.97	4.76	4.35	3.85	2.48	2.27	1.76	1.36	1.05	0.74	0.43
6	8.61	8.40	8.09	7.69	7.08	6.17	3.7	3.28	2.67	1.97	1.55	1.15	0.63
7	22.5	21.8	21.1	20.1	18.7	16.4	8.0	7.3	6.0	4.68	3.66	2.95	1.53
8	38.4	37.3	36.1	34.3	32.0	28.1	14.8	13.4	11.1	8.68	6.97	5.56	2.83
9	12.9	12.6	12.2	11.7	11.0	9.74	12.0	10.9	9.0	7.09	5.57	4.47	2.24
10	5.72	5.61	5.40	5.19	4.78	4.26	8.83	8.02	6.61	5.2	4.08	3.27	1.64
11	3.75	3.64	3.43	3.32	3.10	2.69	6.44	5.83	4.82	3.7	2.99	2.28	1.24
12	3.19	3.18	2.97	2.86	2.64	2.32	4.75	4.34	3.52	2.72	2.19	1.69	0.85
13	0.90	0.89	0.88	0.87	0.75	0.73	3.16	2.85	2.33	1.83	1.4	1.09	0.55
14	0.49	0.48	0.47	0.46	0.44	0.42	2.07	1.86	1.54	1.23	0.91	0.80	0.35
15	0.46	0.45	0.44	0.43	0.40	0.38	1.38	1.27	1.05	0.84	0.62	0.5	0.26
洪峰流量 (m^3/s)	38.4	37.3	36.1	34.3	32.0	28.1	14.8	13.4	11.1	8.68	6.97	5.56	2.83
W3 (万 m^3)	16.8	16.4	15.8	15.1	14.0	12.3	9.9	9.0	7.4	5.8	4.6	3.6	1.9
W12 (万 m^3)	20.9	20.3	19.6	18.7	17.4	15.3	13.8	12.5	10.2	8.0	6.3	5.0	2.5
洪峰模数 ($m^3/s/km^2$)	50.53	49.08	47.50	45.13	42.11	36.97	19.47	17.63	14.61	11.42	9.17	7.32	3.72

3.3 调洪演算（方法一）

方法一：各频率洪水、标准雨型防洪水位与累计可抗雨量相关分析法。

当阳皮家湾水库位于当阳市王店镇严河村境内，坝址以上承雨面积为 0.76km²，总库容 13.33 万 m³，多年平均降雨量 994.6mm。该水库的防洪标准采用 20 年洪水设计，200 年洪水校核。由于皮家湾水库承雨面积小于 20km²，按照规定按 6 小时提出可抗雨量。在小水库达到正常蓄水位后，水库可抗雨量呈现动态变化，为简化分析过程，采用 1 年、2 年、3 年、5 年、10 年、20 年、30 年、50 年、100 年、150 年、200 年、250 年、300 年一遇的标准雨型，构建调洪水位与 6 小时暴雨量的拟合相关曲线，进而通过差值计算可抗雨量^[3]。

皮家湾水库溢洪道为开敞式，堰顶高程 172.2m，与正常蓄水位齐平，堰型为宽顶堰，进口底部净宽 4m。当库水位超过 172.2m 时，溢洪道开始按泄洪能力自由泄洪。根据 SL253—2018《溢洪道设计规范》计算泄流能力，进而得到库水位一下泄流量关系曲线。

对各频率洪水进行调洪演算，过程较为复杂，在此简略。通过统计 1 年、2 年、3 年、5 年、10 年、20 年、30 年、50 年、100 年、150 年、200 年、250 年、300 年一遇的标准雨型，绘制调洪水位与 6 小时暴雨量的拟合相关曲线（ $y=-2.6321x^2+1019.2x-97463$ ， $R^2=0.9914$ ），并得到各频率标准雨型计算洪水调洪水位与 6 小时暴雨量关系见图 1。

根据以上分析的标准曲线，计算库水位每上升 0.2 米时 6 小时暴雨量为累计可抗雨量，然后分析至设计水位、至校核水位可抗雨量。

3.4 库水位正常蓄水位以下时，可抗雨量分析。

库水位正常蓄水位以下时，可抗雨量分析，至正常蓄水位 172.2m，采用：

$$R_{净} = V_{蓄} / F \times 10 = (V_{正} - V_{现}) / F \times 10 \tag{4}$$

$$P_{允许} = f(R_{净}, P_a) \tag{5}$$

式中：R 净为抵御的最大净雨量，以 mm 计；V 蓄为蓄洪的库容，104m³；F 为流域面积，km²；Pa 为流域前期影响雨量，mm；其他同上。

3.5 滞洪库容分解可抗雨量法（方法二探讨）

水位位于正常库水位以下，算法同（一）方法一致，水位位于正常库水位以上利用分级水位间滞洪库容差分解可抗雨量。

两种分析水库可抗雨量方法成果比较（见表 3）：各洪水频率、标准雨型防洪水位与累计可抗雨量相关分析法。第 2 种方法：滞洪库容分解可抗雨量法，两种方法分析成果相对误差较小，可以相互印证。

水位在正常库水位以下时，方法二算法与方法一相同；水位高于正常库水位时，方法二利用分级水位间滞洪库容差来分解可抗雨量。通过对两种方法在不同库水位下至 20 年设计水位 173.62m 和 200 年校核水位 174.70m 的 6 小时可抗雨量计算结果比较发现，二者分析成果的相对误差较小。例如，库水位 171.6m 时，两种方法计算的可抗雨量完全相同；在其他库水位下，虽计算结果有差异，但整体误差不大，表明两种方法可以相互印证，都能为水库可抗雨量的分析提供有效参考。

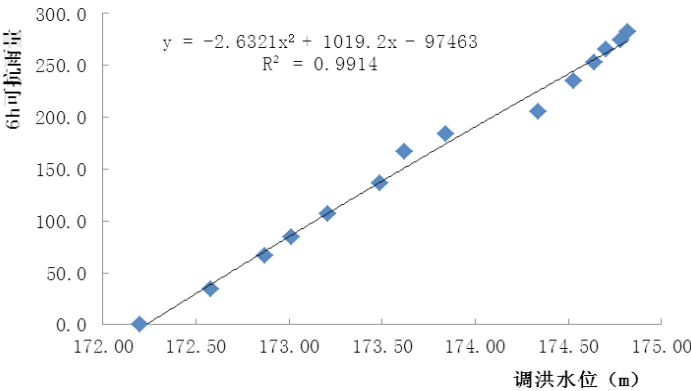


图 1 各频率标准雨型计算洪水调洪水位与 6 小时暴雨量关系

表 3 两种方法成果比较

水位	方法 1	方法 2	方法 1	方法 2
	至 20 年设计水位 173.62m 可抗雨量（6h）	至 20 年设计水位 173.62m 可抗雨量（6h）	至 200 年校核水位 174.70m 可抗雨量（6h）	至 200 年校核水位 174.70m 可抗雨量（6h）
库水位 171.6m	265.4	265.4	363.8	363.8
库水位 171.8m	218.2	218.2	316.6	316.6
库水位 172m	207.0	207.0	305.4	305.4
正常库水位 172.2m	166.6	166.6	265.0	265.0

续表 3

水位	方法 1	方法 2	方法 1	方法 2
	至 20 年设计水位 173.62m 可抗雨量 (6h)	至 20 年设计水位 173.62m 可抗雨量 (6h)	至 200 年校核水位 174.70m 可抗雨量 (6h)	至 200 年校核水位 174.70m 可抗雨量 (6h)
库水位 172.4	150.2	148.8	248.6	247.2
库水位 172.6	127.9	125.0	226.3	223.5
库水位 172.8	105.9	107.1	204.3	205.7
库水位 173.00	84.1	83.3	182.5	182.0
库水位 173.20	62.5	59.5	160.9	158.3
库水位 173.40	41.1	29.8	139.5	128.6
库水位 173.60	20.0	5.9	118.4	104.9
设计库水位 173.62	0.0	0.0	98.4	98.4
库水位 173.80			87.4	77.9
库水位 174.00			66.7	65.6
库水位 174.20			46.1	45.1
库水位 174.40			25.8	28.7
库水位 174.60			5.7	8.2
校核库水位 174.70			0.0	0.0

4 结语

中小型无闸门控制水库在安全度汛中，可抗雨量是最直观的预测指标，无闸门控制水库在库水位达到堰顶高程及正常蓄水位时，水库可抗雨量呈现动态，一边无闸门控制水库呈现自由泄洪，一边流域仍呈现暴雨状态，论文探讨了呈现动态时可抗雨量研究方法，以期为宜昌市境内区域中小型无闸门控制水库渡汛提供预测参考。

参考文献：

[1] 于雷.小型水库防汛抗雨能力计算方法研究[J].黑龙江水利科技,2022,50(1):60-63+129.

[2] 耿延博.小型水库抗暴雨能力快速计算方法[J].黑龙江水利科技,2021,49(5):78-81.

[3] 刘冰.小型水库抗雨能力分析预测[J].吉林水利,2015(5):59-62.

作者简介: 覃好芬(1976-), 女, 中国湖北宜昌人, 本科, 从事水文水资源研究。