

放空洞在大中型水库中的作用

陈章仑 陈洪丰

温州市泽雅水库管理站 浙江温州 325100

摘要: 本文以泽雅水库为例, 阐述放空洞工程在大中型水库中的作用, 尤其在应对极端洪涝现象时所发挥的水库减洪功能。实践证明, 放空洞工程的预泄, 对水库本身的安全、区域防洪安全及供水安全可产生很大的作用。

关键词: 水库; 放空洞; 运行; 安全

The role of cavitation in large and medium-sized reservoirs

Zhanglun Chen Hongfeng Chen

Wenzhou Zeya Reservoir Management Station, Wenzhou, Zhejiang 325100

Abstract: Taking Zeya Reservoir as an example, this paper describes the role of cavitation engineering in large and medium-sized reservoirs, especially in dealing with extreme flooding phenomenon of the reservoir flood reduction function. Practice has proved that the pre-discharge of cavitation project can play a great role in the safety of reservoir itself, regional flood control safety and water supply safety.

Keywords: Reservoir; Cavitation; Operation; Safety

引言

增设水库放空设施, 是水库开展安全检查、维修加固、淤积物清除和应对突发水环境问题的必要措施。2016 年夏天, 泽雅水库增设放空洞后, 可根据需要及时开启应急处理措施, 有效增强了水库本身安全管理和供水安全保障。现实中, 大中型水库是流域、区域防洪体系中的重要骨干工程, 在防洪减灾中发挥着特别重要的作用。水库下游地区的防洪前提, 一般要求水库的最大下泄流量不能超过下游河道的安全泄量, 否则下游将发生洪灾。增设水库放空设施, 就可以增加水库防洪调度的灵活性, 充分发挥水库的防洪作用, 提高流域防洪能力。

泽雅水库位于浙江省温州市瓯海区泽雅镇内, 是一座以防洪、供水为主, 兼具综合利用功能的中型水库, 集雨面积 102km²。1996 年 03 月 11 日动工兴建; 2000 年 7 月通过竣工验收。水库大坝为砼面板堆石坝, 按 50 年一遇防洪标准设计, 相应洪水位 112.22m; 按 2000 年一遇校核(2003 年泽雅水库安全鉴定时将原 1000 年一遇校核标准提高到 2000 年一遇标准), 相应洪水位 113.04m。总库容 5578 万 m³, 防洪库容 1243 万 m³, 正常蓄水位 108.57m, 台汛限制水位 104.97m。水库现有主要泄洪建筑物为溢洪道、放空洞。溢洪道闸门总净宽 36m, 溢洪道堰顶高程 101.97m, 共 3 孔×12m, 设三扇弧形钢闸门; 2016 年增设放空洞, 洞口位于左坝肩上游约 210m 处, 进口底高程 54.0m; 出洞口位于左坝肩下游约 115m 处, 底高程 43.5m。出口设弧形工作闸门,

库水位 101.97m 时, 放空洞出口最大流量为 242.6m³/s。

泽雅水库下游成浦江流域现防洪能力偏低, 河道排洪标准不足 5 年一遇, 远低于设计防洪标准(P=5%)。根据成浦江流域规划, 水库下游防洪标准应达到 20 年一遇, 雅漾处河道安全泄量为 750m³/s。

一、泽雅水库泄放洞(放空洞)工程的必要性分析

1. 水库放空洞工程是安全运行管理的需要

水库放空洞工程是水库开展安全检查、维修加固、淤积物清除和应对突发水环境问题的必要措施。

泽雅水库作为成浦江流域的主要控制性水库, 主要功能以供水为主, 兼顾防洪和灌溉等功能。泽雅水库是温州市区主要饮用水水源地之一, 水库水质直接关系到温州市区百万人口的饮用水安全。水库未有放空设施, 唯一的放低水位的手段是依靠约 6m³/s 供水管道放水。利用供水管道放水一方面无法有效、及时地放低水位, 另一方面极限仅能将水位降至 55m, 无法满足面板检修、清淤(约 50m)的水位需求。另外, 泽雅水库库区村庄依溪而建, 公路一般也是沿溪而造, 交通道路运输存在发生交通事故的可能性, 危险品运输车辆事故有可能引起水库水质污染。由于原设计未设放空设施, 水库放水溢洪道堰顶高程以上可以通过溢洪道放水, 溢洪道以下库水位只能依靠供水管道慢慢泄放, 给水库的应急处置、大坝的安全检修等运行管理带来不便, 因此放空洞十分必要。

2. 水库放空洞是优化防洪调度的需要

泽雅水库是成浦江流域防洪体系的重要工程之一，目前水库泄洪的唯一方式就是通过水库的溢洪道泄洪，调度手段单一，水库水位无法在较短时间内降至溢洪道堰顶高程以下，水库的防洪功能的发挥受到限制。增设水库放空设施可以增加水库防洪调度的灵活性，结合洪水前期的预报，可以研究实施水库的洪水前预泄预降等措施，充分发挥水库的防洪作用，提高流域防洪能力。

二、水库泄流能力：

1. 溢流堰泄流能力计算

现状水库泄洪设施为布置在大坝右岸的溢洪道，净宽 3x12m，堰顶高程 101.97m。溢流堰堰面为幂曲线 $x^{1.85}=11.68y$ ，上游堰面直立，下游段用反弧段与陡槽相接，堰顶设三孔 12.0m×10.25m 弧形钢闸门，起调水位 104.97m。溢流堰前部及右侧山体设 60m 长防渗帷幕一道与坝体帷幕相连。

根据武汉大学 2008 年 7 月编制的《泽雅水库闸门水工模型实验报告》的内容，泽雅水库泄流能力计算公式如下：

$$Q=m_0B(2g)^{1/2}H^{3/2}$$

其中 m 为堰流综合流量系数，其值与堰前总水头 H 有关，根据实验成果以及拟合曲线，拟合计算公式如下：

$$m_0 = \begin{cases} 0.3412 + 0.046793H_0 - 0.005726H_0^2 + (\\ 0.468 \end{cases}$$

武汉大学的泄流公式与以前的泄流公式形式上是一样的，只是其中参数的确定，武汉大学采用的是模型试验确定的，以往主要是根据经验确定的。

而且武汉大学在模型试验中选择几何相似、动力相似和运动相似三大相似准

则，尽量降低缩尺影响，所以模型试验处的参数更具有合理性。所以本次调

洪演算采用武汉大学模型试验的泄流公式。

2. 放空洞泄流能力计算

根据工程布置，在水库死水位以下增加设置放空洞来满足水库放空、泄洪的要求。放空洞泄流能力主要受出口断面尺寸、洞身段过流能力和沿线水头损失控制。放空洞出口断面为 3.2×3.2m，放空洞出口底高程为 43.5m；其泄流能力计算

公式如下：

其泄流能力计算公式如下：

$$Q = \mu A \sqrt{2gH_0}$$

Q --放空洞下泄总流量(m^3/s)；

μ --流量系数；

A --断面面积；

H_0 --设计作用水头(坝前水位与放空洞中心高程差值)；

放空洞泄流能力计算表

表 4-7

水位 (m)	下泄流 量(m^3/s)	水位 (m)	下泄流 量(m^3/s)
60	131.1	100	251.7
65	151.5	102	256.2
90	227.6	105	262.9
95	239.9	110	273.6

预泄流量为 $250m^3/s$ 时，库水位由 102 降至 98m，预泄时间为 6.6h。

三、水库调洪计算

水库调洪采用静库容调洪计算方法，即假定水库库容与库水位在 dt 时段内成直线变化，将圣维南偏微分方程组中的连续方程写成以下有限差形式的水量平衡方程式：

$$(I_{初}+I_{末})/2-(Q_{初}+Q_{末})/2=(V_{末}-V_{初})/dt;$$

式中：

$I_{初}$ 、 $I_{末}$ ----分别为时段 dt 初、末的入库流量， m^3/s ；

$Q_{初}$ 、 $Q_{末}$ ----分别为时段 dt 初、末的出库流量， m^3/s ；

$V_{初}$ 、 $V_{末}$ ----分别为时段 dt 初、末的水库蓄水量，万 m^3 。

水库下泄流量 Q 与坝前库水位 Z 关系为：

$$Q=f(Z);$$

水库泄水建筑物有溢洪道、输水放空洞等，故式中 Q 与 Z 的关系将随防洪调度中所采用的不同泄水建筑物而定。水库蓄水量 V 与库水位 Z 的关系由库容曲线给出，即

$$V=f(Z);$$

联解以上方程式，即可求得各时段的坝前水位、水库下泄流量及蓄水量。根据上述原理，采用试算法迭代求解，逐时段连续演算，完成整个调洪过程。

四、工程调洪

1. 防洪调度原则

(1) 水库防洪调度服从有调度权限的上级人民政府防汛抗旱指挥部调度,并严格执行经批准的所在流域或区域防洪规划和洪水调度方案要求。

(2) 根据水库现状的情况,调度方案原则拟定如下:

①在保证水库大坝本身的安全下,按照下游城镇防洪要求进行调蓄。

②采用简单明了的调度模式,判别条件简明易行。

③重视气象雨情预报在防洪调度中的运用,采取主动的预泄并结合满足下游河道安全泄量的控制性下泄。

④洪峰前控制下泄流量不超过入库流量,避免形成人造洪峰。

⑤洪峰过后,根据天气预报情况适时调节闸门开度,及时将水库水位回

落至汛限水位。

2.防洪控制断面

下游防洪控制断面为雅漾河道,其安全泄量下游河道整治前为 500m³/s,控制水位 8.03m(根据现状戌浦江下游 20 年一遇流量成果统计,雅漾断面流量为 787m³/s,水位高程为 9.78m)。

3.台汛期调度方案

(1) 台汛期限水位为 104.97m。

(2) 洪水调度原则

A)根据气象部门预测的降雨量,合理降低起调水位,腾出更多的库容纳洪。

B)当水库水位超过起调水位低于台限水位(104.97m),水库实行补偿调节,控制雅漾河段水位不超过 7.43m(相应流量 400m³/s)时。

C)当水库水位超过 104.97m 而低于 108.57m,水库实行错峰补偿调节,必要时水库关闸拦洪,控制雅漾河段水位不超过 8.03m(相应流量 500m³/s)。

D)当水库水位超过 108.57m 而低于 112.22m(设计洪水位)时,综合考虑水库安全和下游防洪安全,适当加大水库下泄流量,但应控制下泄流量不超过最大入库流量。

E)当水库水位超过 112.22m 时,水库转为保坝为主,逐步加大闸门开度,直至全开,但应控制下泄流量不超过最大入库流量,尽量维持库水位在 112.22m。

F)洪峰过后,且水库水位回落到 108.57m 后,水库实行补偿调节,控制

雅漾河段水位不超过 7.43m(相应流量 400m³/s),直至库

水位降至台限水位 104.97m。

五、预降水位操作案例

(1)202109 号台风“卢碧”(过程面雨量 204.7mm)暴雨洪水,入库洪峰流量 107 m³/s,最大一日洪量 511 万 m³,最大三日洪量 1374 万 m³,洪水重现期约 2 年一遇,最大拦蓄洪水量达 1125 万 m³,调洪后最高库水位 105.68m;泄洪总量 514 万 m³,最大下泄流量 30m/s,最大削峰率 72.1%,错峰时间 58h,雅漾段河道最高水位 4.73m(低于警戒水位 8.03m),拦洪削峰作用明显。

(2)2021 年 8 月 9 日-12 日暴雨(过程面雨量 127.9mm)洪水,入库洪峰流量 221m³/s(10 日 14:10),最大一日洪量 503 万 m³,最大三日洪量 1035 万 m³,洪水重现期约 2 年一遇,水库从 8 月 9 日 17 时的 104.72m 起调,调洪后最高库水位 106.67m(10 日 23 时),最大拦蓄洪量 316 万 m³;10 日 14 时库水位 105.00m,超汛限水位 0.03m,根据上级(2021)3 号调度令,于 10 日 16 时开启放空洞泄洪闸进行泄洪,下泄流量 30m³/s;至 11 日 15 时库水位上涨至 106.36m,超台汛期汛限水位 1.39m,且库区 13 时-17 时累计降雨量超 30mm,根据上级 4 号调度令,于 16 时加大放空洞泄洪流量至 100m/s:本次调洪最大下泄流量 100m/s(11 日 16 时),最大削峰率 54.8%,错峰时间 28h,泄洪总量 1340 万 m³;经调洪,雅漾段河道最高水位 5.63m(12 日 3 时),低于警戒水位 8.03m,拦洪削峰作用明显,下游流域未受淹。

(3)8 月 21-23 日(面雨量 37.3mm)洪水,入库洪峰流量 51m³/s(21 日 14 时),最大一日洪量 106 万 m³,最大三日洪量 313 万 m³,水库从 8 月 21 日 12 时的 104.34m 起调,调洪后最高库水位 104.98m(23 日 15:30),最大拦蓄洪量 101 万 m³,此时超汛限水位 0.01m,根据上级(2021)6 号调度令,于 16:30 开启放空洞泄洪闸进行泄洪,此后库水位逐步下降,并根据上级(2021)7 号调度令于 24 日 8:30 关闭闸门(库水位 104.2m)。本次调洪最大下泄流量 30m/s(23 日 16:30),最大削峰率 41%,错峰时间 4.5h,泄洪总量 172 万 m³;经调洪,雅漾段河道最高水位 3.90m(22 日 0 时),低于警戒水位 8.03m,下游流域未受淹。

六、结束语

自泽雅水库放空洞参与调洪以来,期间经历了台风“卢碧”、“灿都”、“玛莉亚”等洪水的考验,水库运行良好,且通过泽雅水库放空洞在洪水前采取预泄预降等措施,使现有

下游雅漾河道防洪控制断面，其水位控制在 8.03m 以下。

水库放空设施是水库开展安全检查、维修加固、淤积物清除应对突发水环境加深研究实施水库的洪水前预泄预降等措施，确能充分发挥水库的防洪作用，提高流域防洪能力。但管理运行过程中会涉及的问题：1 建议加强气象预报及评估，降低因台风降雨量以及台风后至未来枯水季结束期间水库进水量的不确定性，采取洪水前预泄预降措施，导致加剧期间水库缺水状况几率；2 水工隧洞工况多变，运行条件复杂，洞壁结构不仅要考虑山岩压力而且要考虑内水压力。而计算模型的选取、施工工艺条件、地层岩性结构的不同，这些多变

的条件对隧洞方案是很大的考验。建议参看高坝大库因战备要求[1]设置了放空底孔运作方式，即大部分底孔不参与水库的泄洪，或仅在达到设计洪水时才参与泄洪。

参考文献：

[1]罗前进，谭秀娟．水电站大坝定期检查中泄水建筑物运行若干问题[J].大坝与安全，2015，(1)：64-66.

[2]周乃昉，郑修宗，邱啟芳，陈在中等.水库防洪运转之预先泄放--第十三届海峡两岸水利科技交流研讨会.[C]：台中市，2009