

# Flood Regulation Analysis of Lower Reservoir of Jixi Pumped-Storage Power Station

Na Zhong<sup>1,2</sup>, Zaimin Ren<sup>1,2</sup>, Jian Liu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Power China Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>Pumped Storage Engineering Center of Zhejiang, Hangzhou Zhejiang

Email: zhong\_n@ecidi.com

Received: Dec. 18<sup>th</sup>, 2019; accepted: Dec. 31<sup>st</sup>, 2019; published: Jan. 7<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

For a pumped storage power station, the flood regulation of lower reservoir should take the superimposition of inflow flood and generating flow into consideration, since the generating flow is usually larger than the inflow flood. The lower reservoir of Jixi pumped storage power station has a good condition of storage capacity with small hydro-fluctuation depth, while the flood control ability of downstream river is weak. The system generation requirements, the cost of hydraulic complex buildings and the downstream flood control security are supposed to be considered to design the scale of the flood control facilities in the lower reservoir. If the increase of the dam height is limited, a small scale of flood control facilities should be designed to reduce the downstream flood peak. In addition, the shutdown time of units can be controlled within 0.5 h by the step-by-step shutdown scheme.

## Keywords

Flood Regulation, Safety Discharge, Power Generation Flow, Superimposition, Pumped-Storage Power Station

---

# 绩溪抽水蓄能电站下水库洪水调节分析

钟娜<sup>1,2</sup>, 任在民<sup>1,2</sup>, 刘健<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州

<sup>2</sup>浙江省抽水蓄能工程技术研究中心, 浙江 杭州

Email: zhong\_n@ecidi.com

收稿日期: 2019年12月18日; 录用日期: 2019年12月31日; 发布日期: 2020年1月7日

---

## 摘要

抽水蓄能电站机组发电流量相对下水库入库洪水较大, 下水库的洪水调节需考虑入库洪水与发电流量的叠加影响。作者简介: 钟娜(1982-), 女, 辽宁盖州人, 高级工程师, 硕士, 注册土木和咨询工程师, 从事水电规划、抽水蓄能电站规划研究工作。

响。绩溪抽水蓄能电站下水库库容条件好,消落深度小,而水库下游河道的防洪能力弱,下水库泄洪设施规模设计综合考虑系统发电要求、枢纽建筑物的经济性,兼顾下游防洪安全,在坝高增加不多的情况下,选择较小规模的泄洪设施规模,达到为下游削减洪峰的作用;其设置逐步关机方案可将因防洪造成的影响停机时长控制在0.5 h以内。

## 关键词

洪水调节,安全泄量,发电流量,叠加,抽水蓄能电站

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

中国抽水蓄能电站发展规模已跃居世界第一。电站的下水库的洪水调节计算原则、泄洪设施规模对于大坝的防洪安全和电站的发电运行可靠性关系密切。抽水蓄能电站主要依靠上、下水库的水量转换获取低谷电转换成高峰电的效益,上、下水库库容小,坝址集水面积一般不大,除少量集水面积较大流域有防洪任务要求的项目外[1],一般不承担下游防洪任务,下水库的泄洪设施规模和洪水调度原则设计基本以不增加下游防洪负担,以满足电站的发电运行、洪水遭遇进行调节计算,考虑水工建筑物的防洪安全制定规则并进行设计[2][3]。然而在电站建成后曾出现由于下游防洪安全问题与电站的发电运行出现矛盾进而限制抽水蓄能电站的正常运行情况[4]。因此,在电站设计阶段虽然抽蓄电站不承担下游防洪任务,不需设防洪控制水位,但在洪水调度设计中应充分调查下游的安全泄量,考虑电站发电运行与下游安全,综合经济与可能性进行电站的泄洪设施规模及方式,拟定合适的洪水调度原则。绩溪抽水蓄能电站上、下水库集水面积较小,装机容量规模180万kW,电站6台机组满发流量达 $347\text{ m}^3/\text{s}$ ,超过下水库坝址2000年一遇洪峰流量,机组发电对下水库洪水调节有较大影响。本文通过分析绩溪抽水蓄能电站下水库的特点,对电站下水库的泄洪设施型式及规模选择、洪水调度规则及调洪成果进行探讨。

## 2. 工程概况

绩溪抽水蓄能电站位于安徽省绩溪县伏岭镇,地处皖南山区,距合肥、南京、上海直线距离分别为240 km、210 km、280 km,电站建成后供电范围华东电网(安徽、江苏、上海),承担电网的调峰、填谷、调频、调相和事故备用等任务。电站上水库正常蓄水位961 m,死水位921 m;下水库正常蓄水位340 m,死水位318 m。总装机容量180万kW,按连续满发6 h设计,发电调节库容840万 $\text{m}^3$ ,另设水损备用库容90万 $\text{m}^3$ ,分设于上、下水库[4]。

绩溪抽水蓄能电站装机规模按《水电枢纽工程等级划分及设计安全标准》DL5180-2003及《防洪标准》GB50201-94确定为一等大(1)型工程,上、下水库等永久挡水建筑物防洪标准按200年一遇洪水设计,2000年一遇洪水校核;厂房、输水系统等发电建筑物防洪标准按200年一遇洪水设计,1000年一遇洪水校核。

电站上水库位于赤石坑沟源头,坝址以上集雨面积较小(仅 $1.8\text{ km}^2$ ),2000年一遇24 h洪量89.4万 $\text{m}^3$ 。考虑集水面积较小,从枢纽建设物经济性考虑,可行性研究阶段确定上水库不设泄洪设施,各频率洪水按24 h暴雨形成的洪量全部蓄于正常蓄水位以上计算。上水库200年一遇设计洪水位为962.99 m;校核洪水位为963.69 m。

### 3. 下游防洪要求及泄洪设施规模选择

#### 3.1. 下游防洪现状及防洪安全要求

绩溪抽水蓄能电站下水库位于登源河支流赤石坑上游，坝址以上集雨面积  $7.8 \text{ km}^2$  (含上水库)，成库后库周无其它防护对象，水库下游主要防洪对象位于赤石坑下游的安川村和位于赤石坑与逍遥河交汇口的鱼龙川村，包括河道两岸的民居和农田。下游乡镇未开展防洪规划编制工作，防洪标准按《防洪标准》GB50201-94 确定为 10 年一遇。经实测断面资料和洪水资料频率研究，河道天然情况的安全泄量约  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ ，相当于天然情况的 3~5 年一遇。

#### 3.2. 下水库泄洪设施型式和规模选择

电站下水库主坝坝型为混凝土面板堆石坝，200 年一遇设计洪峰流量  $232 \text{ m}^3/\text{s}$ ，2000 年一遇校核洪峰流量  $326 \text{ m}^3/\text{s}$ 。抽水蓄能电站下水库的泄洪设施有岸边开敞式溢洪道 + 小尺寸泄放洞、坝身溢洪道 + 大尺寸泄放洞、仅设大尺寸泄放洞等多种组合型式。考虑绩溪电站供电华东电网，装机规模大，电站在系统中的重要作用等因素，结合电站自身的地形地质条件，为尽量减少入库洪水对发电调节库容的侵占、提高绩溪电站洪水期的发电利用率，可行性研究阶段选择竖井式开敞式溢洪道和导流泄放洞的泄洪设施组合方案[5]，见图 1。

综合考虑电站下游河道的防洪能力，结合下水库的库容条件，可研阶段泄放洞的泄流规模按下游河道安全泄量规模  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  为上限进行设计，同时开敞式溢洪道泄流能力也按遭遇 20 年一遇洪水时下泄流量在  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  左右设计。约使用电站下库正常蓄水位  $340 \text{ m}$  至校核洪水位之间约  $36 \text{ 万 m}^3$  库容(约  $0.6 \text{ m}$ )，却可将下游防洪能力由现状的 3~5 年一遇提高至 20 年一遇。招标施工图阶段经对泄洪建筑物规模进行优化设计，导流洞能力调整为  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

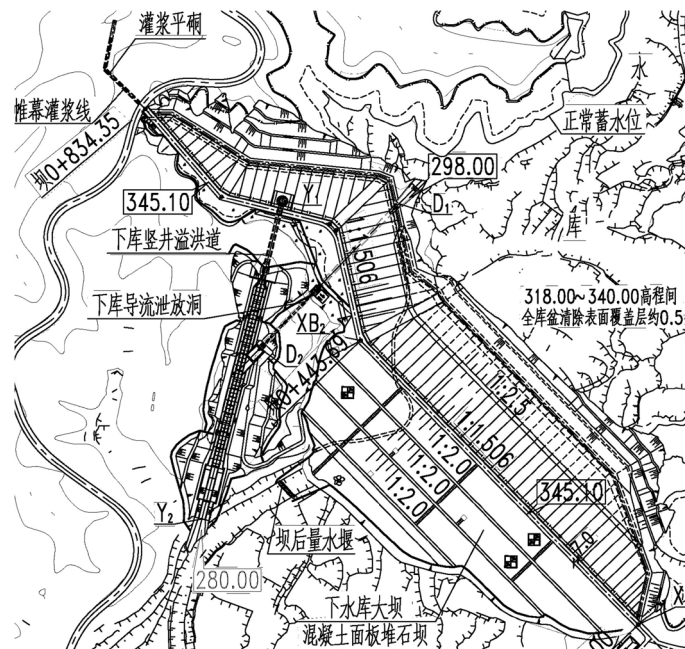


Figure 1. Spillway structure of lower reservoir of Jixi pumped-storage power station

图 1. 绩溪电站下水库泄洪设施示意图

### 4. 洪水调度原则

抽水蓄能电站的上、下水库通过输水系统相连，上、下水库的水量在发电和抽水工况时在上下水库之间转

换, 两库实际上是一个整体。绩溪抽水蓄能电站上水库不设泄洪设施, 上库洪水通过机组泄放至下水库, 因此下水库的调洪时需按照上下水库的水位(上下水库的调节水量, 含备用库容)进行调度[6]。

$$\begin{cases} V_{si} = f_1(Z_{si}) \\ V_{xi} = f_2(Z_{xi}) \\ F(V_{si}, V_{xi}) = V_{si} + V_{xi} - (V_{ss} + V_{xs}) - \max(V_{st}, V_{xt}) \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $V_{si}$ 、 $V_{xi}$  指  $i$  时刻上水库和下水库的库容;  $Z_{si}$ 、 $Z_{xi}$  指  $i$  时刻上水库和下水库的水位;  $Z_{ss}$ 、 $Z_{xs}$  指  $i$  时刻上水库和下水库的死库容;  $V_{st}$ 、 $V_{xt}$  指上水库和下水库的调节库容, 分别由 6 h 发电水量和上、下水库的水损备用库容 90 万  $\text{m}^3$  组成。

下库泄放洞由施工导流洞改建而成, 进口底高程 298 m, 远低于下库死水位, 根据式(1), 当  $F(V_{si}, V_{xi}) > 0$ , 表明有洪水入库, 且已超出上下水库的发电调节库容 + 水损备用库容 90 万  $\text{m}^3$ , 这时需开启导流泄放洞阀门, 泄放洪水, 以尽量减少洪水对发电库容的侵占。当入库洪水逐渐增加, 下水库水位涨至下水库正常蓄水位 340 m 时, 溢洪道启用, 关闭泄放洞, 由溢洪道单独泄洪。

由于机组发电流量对下库洪水调节计算影响较大, 叠加发电流量的洪水频率, 对电站的特征洪水位影响较大, 拟定调度原则时需选择合适的叠加标准。

同时, 鉴于洪水发生时间的不确定性, 从工程设计安全考虑, 在拟定的电站运行方式基础上, 进行不同时间遭遇的组合计算, 以寻求最不利的组合工况。

根据上述分析, 拟定绩溪抽蓄电站的下水库的洪水调度规则:

1) 当下库水位在死水位至正常蓄水位之间, 且上、下水库死水位以上水量超过 6 h 发电调节库容 + 90 万  $\text{m}^3$  的水损备用库容时, 开启导流泄放洞泄洪; 当水位继续上涨至正常蓄水位时, 关闭导流泄放洞闸门, 溢洪道自由溢流;

2) 当水库水位低于正常蓄水位时, 当入库流量小于泄洪设施的泄流能力和下游安全泄量的小值时, 按入库流量泄洪, 水库水位不变; 当入库洪水超出泄洪设施的泄流能力和下游安全泄量的小值时, 按泄洪设施的泄流能力和下游安全泄量的小值泄洪, 水位壅高;

3) 洪水结束后, 如果上、下水库水位仍未恢复正常情况, 即上、下水库死水位以上总蓄水量仍超过 6 h 发电调节库容 + 90 万  $\text{m}^3$  的水损备用库容, 继续利用溢洪道或导流泄放洞泄放洪水, 直至上、下水库水位恢复正常情况;

4) 电站上水库因不设泄洪设施, 上水库抽水量受上水库正常蓄水位控制, 上水库水位达到正常蓄水位后, 电站停止抽水, 洪水经机组发电后通过下水库泄放;

5) 对下库水位在 341.61 m ( $P = 3.33\%$  洪水位) 以下时, 均按天然洪水和电站满发 6 h 流量进行叠加, 考虑不同时间组合, 寻求天然洪水与电站发电的最不利组合; 当水库水位高于 341.61 m 时, 电站 2 台机组停机; 当水库水位升至 242.20 m ( $P = 0.5\%$  洪水位) 时, 电站全部机组停机。取各频率洪水坝前最高洪水位的外包线, 即求得该频率洪水坝前最高洪水位及相应最大下泄流量。

此外, 从偏安全考虑, 工程设计时还考虑导流泄放洞故障, 汛期发生洪水的偏不利工况, 考虑电站停止运行, 溢洪道自由泄流的情况, 对水库各频率洪水位进行校核。

## 5. 洪水调节成果及分析

根据拟定的洪水调度原则, 进行绩溪电站下水库的洪水调节计算。经计算, 绩溪抽水蓄能电站下水库发电与洪水遭遇工况的最高洪水位和最大下泄流量成果见表 1。

**Table 1.** Calculation results of the flood regulation of Jixi's lower reservoir**表 1.** 绩溪电站下水库洪水调节计算成果

频率(%)	入库流量(m <sup>3</sup> /s)	最高洪水位(m)	最大泄量(m <sup>3</sup> /s)	溢洪道最大泄量(m <sup>3</sup> /s)	导流泄放洞最大泄量(m <sup>3</sup> /s)
0.05	326	342.82	129	129	20
0.5	232	342.16	88	88	20
3.33	148	341.61	58	58	20
5	175	341.24	40	40	20
20	66.6	340.75	20	19	20

由表 1 可见:

1) 考虑泄放洞故障、机组停机的校核工况, 大坝 200 年一遇设计标准和 2000 年一遇校核标准洪水位分别为 342.86 m、342.20 m, 仅比设计工况超出 0.04 m, 最终大坝的设计、校核洪水位按校核工况采用。

2) 绩溪电站的下水库设计、校核洪水位仅超出正常蓄水位 2.2 m、2.86 m, 大坝规模增加较少, 费用增加不多, 可见通过缩小泄洪设施规模、适当壅高洪水位、增加少量坝高, 来提高下游的防洪标准是合适的。

3) 进入下水库的洪水, 经水库调节, 最大下泄流量仅占入库洪峰流量的 40%~60%, 削峰作用明显。尤其当遭遇 20 年一遇及以下洪水时, 下泄流量小于或等于约 40 m<sup>3</sup>/s, 可见绩溪电站可将下游河道防洪标准由现状的 3~5 年一遇提高至 20 年一遇。

4) 鉴于洪水调度原则中选择下水库水位在 341.61 m 以上即停机, 本文对 P = 0.5% 厂房设计标准下电站发电受影响程度进行分析, 见表 2。

**Table 2.** Analysis of impact on generation operation of Jixi PSP during flood period**表 2.** 洪水期绩溪抽水蓄能电站发电运行受影响程度分析

频率(%)	停机台数(台)	停机时长(h)	减少日电量(万 kWh)	占日蓄能量比例(%)
0.5	2	0.48	28.44	2.6%
1	2	0.30	18.00	1.7%
2	2	0.12	7.32	0.7%
3.33	0	0	0	0.0%

由表 2 可见, 按洪水与发电最不利的工况分析, 下水库遭遇 P = 2%~P = 0.5% (厂房设计标准)洪水时, 电站 2 台机组至多停机 0.12~0.48 h, 减少日电量约 7~28 万 kWh, 占日蓄能量的 0.7%~2.6%。而其他的洪水与发电组合工况, 各频率影响时间还要更小一些, 因此, 总体来看, 采取分级控制水位、逐级关机的方案对绩溪电站的日发电能力影响不大。

## 6. 成果讨论

1) 绩溪抽水蓄能电站下水库建于集雨面积较小的山区河道上, 天然洪峰流量和洪量均相对较小, 机组满发流量和调节水量甚至与设计洪峰和洪量流量相当, 发电流量对下水库洪水调节成果影响较大。为及时排泄洪水, 尽量减少发电流量对调节库容的侵占, 提高电站在洪水期的利用率, 下水库泄洪设施考虑由溢洪道和启用高程较低的泄放洞(或底孔)等组合泄洪型式。

2) 绩溪抽水蓄能电站下水库库面面积相对较大, 通过泄洪设施规模的合理设置, 利用水库的滞洪作用可在保证电站满足系统作用的前提下, 且工程费用增加不多的前提下, 提高下游河道防洪能力, 在工程设计中即为电站投运后发电运行受下游防洪制约的情况做出充分的考虑。但对于某些受地形条件、库区移民淹没影响等制

约坝高增加有难度或工程费用增加较多的电站,泄洪设施规模选择,还应通过技术经济比较确定。此外,制定水库洪水调度原则和确定泄洪设施规模时还应结合水利部门对下游河道的防护规划开展研究。

3) 绩溪电站下水库在水位超出 341.61 m 以上时采取分级控制水位、逐级关机的方案,当电站遭遇  $P = 2\%$  以上~厂房设计标准  $P = 0.5\%$  的各频率洪水,即使按入库洪水与机组发电遭遇的最不利组合情况分析,全厂的停机时间至多为 0.16 h~0.48 h ( $P = 0.5\%$  设计标准洪水),占电站设计日蓄能量的 0.7%~2.6%,即绩溪电站设计标准洪水情况仍可保证电站日发电时间达到 5.5 h 以上,远大于安徽电站内已建的琅琊山、响水洞等抽蓄电站的日平均发电时间 3 h 左右。且对于其他入库洪水与机组发电的遭遇情况,电站发电受入库洪水影响的幅度将更小。

## 7. 结语

本文结合绩溪抽水蓄能电站的特点,对电站下水库泄洪设施型式、规模选择及洪水调度规则及调洪成果等进行分析与探讨,绩溪抽水蓄能电站下水库库容条件好,消落深度小,而水库下游河道的防洪能力弱,下水库泄洪设施规模设计时综合考虑系统发电要求、枢纽建筑物的经济性,兼顾下游防洪安全,在坝高增加不多的情况下,选择较小规模的泄洪设施规模,达到利用天然库容为下游削减洪峰的作用;通过设置逐步关机方案,可将洪水期电站因防洪产生停机时长控制在 0.5 h 以内,可以满足电力系统的要求。

## 参考文献

- [1] 朱安龙,王洪涛,章燕喃,等.周宁抽水蓄能电站下水库泄洪建筑物布置方案研究[J].水利水电技术,2017,48(3):12-18.  
ZHU Anlong, WANG Hongtao, ZHANG Yannan, et al. Study on layout for flood-discharge structure of lower reservoir for Zhouning Pumped-Storage Hydropower Station. Water Resources and Hydropower Technique, 2017, 48(3): 12-18.
- [2] 胡忠启,赵贤学,张士平,等.桐柏抽水蓄能电站上下水库泄洪方式运行实践与研究[J].水电站机电技术,2017,40(9):52-55.  
HU Zhongqi, ZHAO Xianxue, ZHANG Shiping, et al. Practice and research on flood discharge mode of upper and lower reservoirs of Tongbai Pumped Storage Power Station. Mechanical & Electrical Technique of Hydropower Station, 2017, 40(9): 52-55.
- [3] 钟娜,张皓天.缙云抽水蓄能电站洪水调节分析[J].水力发电,2019,45(10):25-27.  
ZHONG Na, ZHANG Haotian. Flood regulation analysis of lower reservoir of Jinyun Pumped-Storage Power Station. Journal of Hydroelectric Engineering, 2019, 45(10): 25-27.
- [4] 曾昭芳,王红.天荒坪抽水蓄能电站现行洪水调度方式研究[J].华东水电技术,2001(2):48-51.  
ZENG Zhaofang, WANG Hong. Study on current flood dispatching mode of Tianhuangping Pumped Storage Power Station. East China Hydropower Technology, 2001(2): 48-51.
- [5] 雷显扬,周辉,赵琳,等.环形薄壁堰堰首竖井水力特性研究-以安徽绩溪抽水蓄能电站竖井溢洪道为例研究[J].人民长江,2013,44(23):79-81.  
LEI Xianyang, ZHOU Hui, ZHAO Lin, et al. Study on hydraulic characteristics of vertical shaft with annular thin-wall weir: Case study of vertical-shaft spillway of Jixi Pumped-Storage Power Station. Yangtze River, 2013, 44(23): 79-81.
- [6] 安徽绩溪抽水蓄能电站可行性研究报告[R].杭州:华东勘测设计研究院有限公司,2011.  
Feasibility study report of Anhui Jixi Pumped Storage Power Station. Hangzhou: Power China Huadong Engineering Corporation Limited, 2011.