

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.10.011

# 高变幅工况下的抽蓄厂房消防供水系统设计

陈丁力, 叶虹, 张敏

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

**摘要:** 抽水蓄能工程是我国大力推进能源结构转型的重要支撑,其中消防供水系统是保障电站安全运行的关键组成。不同于民用建筑中相对稳定的消防水池水位,抽蓄工程的水位变幅一般为20~40 m且变动较为频繁,保障厂房各部位消火栓在不同水位工况下均能安全稳定使用,是消防供水系统设计的重难点。通过对4类水位工况组合进行分析,兼顾最不利消火栓灭火压力要求和最低处消火栓防超压要求,总结了对应的消防供水系统布置方案,并提出了一种端部切换式减压供水系统。介绍了系统关键设计要点、计算方法、控制逻辑,并进一步提出了末端减压及源头减压措施,定量化分析了各类减压措施的适用范围,可为类似工程提供参考。

**关键词:** 消防供水系统; 抽水蓄能工程; 高变幅; 减压

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)10-0070-05

## Fire Protection Water Supply System Design of Pumped Storage Powerhouse under Conditions of High Water Level Amplitude Variation

CHEN Ding-li, YE Hong, ZHANG Min

(PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China)

**Abstract:** The pumped storage project serves as a crucial support for promoting the transformation of the energy structure in China, among which the fire protection water supply system is a key component that ensures the safe operation of the powerhouse. Different from the relatively stable water level in fire pools of civil buildings, the water level of pumped storage projects typically fluctuates between 20 and 40 meters with considerable frequency. Ensuring the safe and reliable operation of fire hydrants throughout the powerhouse under varying water levels constitutes a key and difficult point in the design of fire protection water supply system. Through the comprehensive analysis of four types of water level conditions, while considering the requirements for the most unfavorable fire hydrant pressure and the prevention of overpressure at the lowest fire hydrant, the corresponding fire protection water supply system layout schemes were developed. Furthermore, an end-switch type pressure-reducing water supply system was proposed. This paper introduced the key design aspects, calculation methodologies, and control logic of the system. Furthermore, it proposed measures for end decompression and source decompression, and conducted a quantitative analysis of the applicable scope of these measures, providing a valuable reference for similar projects.

**Key words:** fire protection water supply system; pumped storage project; high water level amplitude variation; decompression

抽水蓄能工程枢纽一般由水库、引水钢管、发电厂房、开关站等组成,水库具有储水量大的特点,

即使在极端死水位工况下亦能满足消防灭火所需的用水量要求,因此一般将水库作为发电厂房的消防供水首选水源。而库区水位受季节及电网调度影响较大,尤其对于日调节抽水蓄能电站,需通过上下水库之间的水量调节来平衡电网电压变化,造成其库区水位不断在常水位与死水位之间波动<sup>[1]</sup>。

消防供水系统作为消防系统中直接用于灭火、控火的重要一环,合理进行系统设计,保证其在不同水位工况下的可靠性,是保障抽水蓄能工程安全运行的关键。

## 1 设计要点

民用建筑的消防供水系统以消防水池作为供水水源,其水位变幅一般仅为3~5 m,引入管压力相对稳定,对消防系统压力影响不大;与之不同,抽蓄工程的水位变幅一般为20~40 m,同时电站厂房高度(以消火栓计)一般情况下可达50 m(见表1)。消防系统方案设计中,既需保证低水位工况下最不利(最高处)消火栓的最低压力要求,又需保证高水位工况下,最低点的消火栓不会发生超压,而后者在实际工程中往往容易被忽略。典型抽蓄厂房消防供水系统如图1所示。

表1 抽蓄工程水位变幅与厂房高度调研

Tab.1 Survey on water level amplitude variation and powerhouse height of pumped storage project

m

项目	水位变幅	厂房高度
山东TA抽水蓄能电站	25.5	48.0
江西GX抽水蓄能电站	25.0	46.2
福建HA抽水蓄能电站	36.0	44.3
绩溪JP抽水蓄能电站	34.0	45.7
江苏JR抽水蓄能电站	16.0	48.6

由于抽蓄工程水库兼具水位变幅巨大、变动频率高的特点,较难通过人工调节的方式适应管网压力波动,因此在此类项目的消防系统中,保持供水压力稳定是设计的重难点。抽蓄厂房消防供水系统设计主要执行《水电工程设计防火规范》(GB 50872—2014,以下简称《水规》)及《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014,以下简称《消水规》),根据《消水规》相关要求,设计中应重点关注以下问题:①最不利消火栓的栓口动压不应小于0.35 MPa;②各部位消火栓的栓口动压不应大于0.5 MPa;③栓口静压大于1.0 MPa时应分区供水。

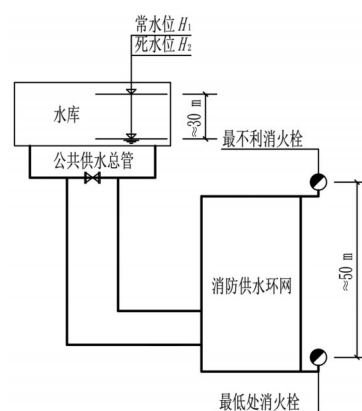


图1 典型抽蓄厂房消防供水系统示意

Fig.1 Schematic of typical fire protection water supply system for pumped storage powerhouse

## 2 工况组合分析

消防供水系统压力主要受以下因素影响:库区高水位( $H_1$ )、库区死水位( $H_2$ )、最不利消火栓安装高程( $F_1$ )、最低处消火栓安装高程( $F_2$ )、管道沿程水头损失及局部水头损失。考虑到水损的影响较小且可以通过管径优化人为降低,为简化分析,此处仅对前4个因素进行分析。在工程实践中,库区1000~2000年一遇校核洪水位一般仅比常水位高2~3 m<sup>[2]</sup>,出现概率不高且对消防系统承压安全影响不大,故一般采用常水位作为库区高水位。

### 2.1 死水位不足+常水位不足工况

此工况即 $H_2 - F_1 < 35$  m且 $H_1 - F_1 < 35$  m,库区在任意水位下,消防系统均无法满足自流供水需求,需配建加压泵组,采用临时高压消防供水系统(见图2)。

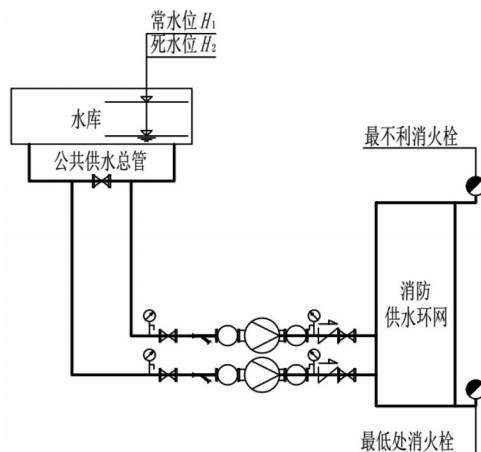


图2 临时高压消防供水系统示意

Fig.2 Schematic of temporary high pressure fire protection water supply system

泵组扬程 $P$ 应按照死水位工况设计,以满足 $H_2-F_1+P\geq 35$  m。

## 2.2 死水位不足+常水位满足工况

此工况即 $H_2-F_1<35$  m且 $H_1-F_1\geq 35$  m,当库区水位下降至低水位时,应采用临时高压供水系统;当库区处于高水位时,可沿用临时高压供水系统或转换为高压供水系统。在进行系统方案选择时,应根据抽蓄电站的调节周期及天然径流量,分析库区水位变化曲线:当库区水位长时间处于低水位工况时,宜沿用图2供水方式;反之可选用图3所示的供水系统,通过电动阀切换系统形式以提高可靠性。

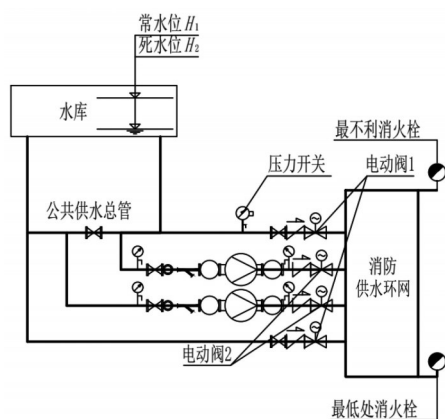


图3 高压+临时高压组合供水系统示意

Fig.3 Schematic of high pressure and temporary high pressure combined fire protection water supply system

由于受抽蓄工程的厂房高度和水位变幅限制,一般不会出现死水位工况压力不足、常水位工况系统超压的情况,此类工况仅出现在少数水位变幅超过50 m的电站。受篇幅所限,不对此类工况过多阐述,实际工程中可在图3系统的电动阀1后端增设减压阀,调整为减压+临时高压组合供水系统。

## 2.3 死水位满足+常水位不超压工况

此工况即 $H_2-F_1\geq 35$  m且 $H_1-F_2\leq 100$  m,对于消防供水系统设计而言最为便捷,可直接采用高压给水系统(见图1)。

## 2.4 死水位满足+常水位超压工况

对于抽蓄工程而言,此工况是最为常见的一种情况,即 $H_2-F_1\geq 35$  m且 $H_1-F_2>100$  m,由于高水位条件下最低点消火栓静压超过1.0 MPa,为保证电站消防供水安全,降低管网破坏、渗漏风险,应采用减压供水系统。

对于超压区域集中、管网布置简单的电站,可

采用分区减压阀减压方式,上部与水库直连采用高压给水系统,下部经减压阀减压后供至消防给水环网。分区减压供水系统如图4所示。该系统设计时分区界限( $F_3$ )、减压阀水损( $H_3$ )应同时满足以下要求:① $H_1-100\leq F_3\leq H_2-H_3-35$ ;② $H_1-H_3-F_2\leq 100$  m。

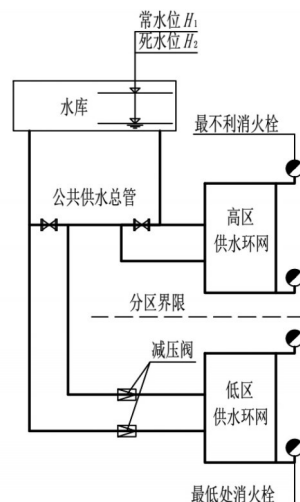


图4 分区减压供水系统示意

Fig.4 Schematic of division zone pressure-reducing fire protection water supply system

但大部分情况下部超压区域分散于主变洞、副厂房及主厂房,采用分区减压的方式会造成消防供水总管数量明显增加,而电缆交通洞、主变交通洞、中间层、水轮机层等综合管线密集的区域,其布置空间非常有限。因此对于此类电站,建议优先采用总管切换的方式进行分区。通过对库区水位改变后进水总管压力变化的分析,将进水总管上压力开关联动启闭电动阀来完成高压供水系统和减压供水系统的切换,从而实现对厂房消防供水系统的压力控制。端部切换式减压供水系统如图5所示。

当库区水位 $H\geq$ 切换水位( $H_4$ )时,电动阀2开启、电动阀1关闭,系统转换为减压供水系统;当库区水位 $H<H_4$ 时,电动阀2关闭、电动阀1开启,系统转换为高压供水系统。 $H_4$ 的阈值可按照以下要求确定: $35+H_3+F_1\leq H_4\leq 100+F_2$ 。

为避免联动故障造成的系统安全性风险,供水系统应采用防超压及防误动作措施。前者可采用提高消防供水管路承压等级的方式<sup>[3]</sup>,一般提高至1.6 MPa即可满足任意工况下系统的工作压力需求,对工程总体投资影响较小。对于排水措施完善的场所,亦可采用安全泄压阀的方式,泄压阀宜靠

近减压阀后设置。后者建议由计算机监控系统收集电动阀1、电动阀2的联动启闭反馈信号,与库区水位信号构成判断逻辑。当库区水位 $H < H_4$ ,电动阀1误关闭,或库区水位 $H > H_4$ ,电动阀1误开启时,计算机监控系统反馈故障信号,并在全厂中控室及消防控制室提示报警,由具有权限的工作人员远程或就地启闭电动阀。

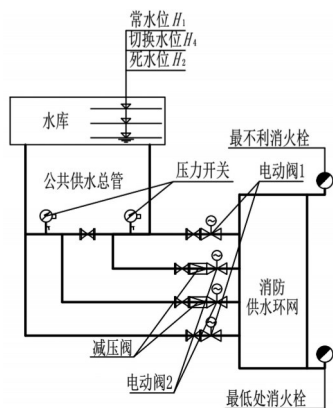


图5 端部切换式减压供水系统示意

Fig.5 Schematic of end-switch type pressure-reducing fire protection water supply system

## 2.5 分析结果

基于上述分析,对于实际工程中常见的4类工况,设计中可按照表2进行消防供水系统的选用。

表2 消防供水系统选用

Tab.2 Selection for fire protection water supply system

水位工况	推荐系统形式
$H_2 - F_1 < 35 \text{ m}$ 且 $H_1 - F_1 < 35 \text{ m}$	临时高压
$H_2 - F_1 < 35 \text{ m}$ 且 $H_1 - F_1 \geq 35 \text{ m}$	高压+临时高压组合
$H_2 - F_1 \geq 35 \text{ m}$ 且 $H_1 - F_2 \leq 100 \text{ m}$	高压
$H_2 - F_1 \geq 35 \text{ m}$ 且 $H_1 - F_2 > 100 \text{ m}$	高压+减压组合

## 3 减压稳压措施

无论采用临时高压供水系统还是高压供水系统,设计时均应考虑厂房低高程部位的消火栓减压稳压措施,主要包括末端减压以及源头减压两种方式。

### 3.1 末端减压

对于系统工作压力超过0.5 MPa的场所,宜优选配置减压稳压型消火栓,将栓口动压控制在0.35~0.50 MPa范围内。但值得注意的是,根据《室内消火栓》(GB 3445—2018)相关要求,Ⅱ型、Ⅲ型减压稳压消火栓均只能保证当进口压力在0.7~1.6

MPa时,将出口压力稳定控制在0.35~0.45 MPa,这意味着进口压力为0.5~0.7 MPa时减压稳压消火栓存在盲区<sup>[4]</sup>。可以通过以下两种方式解决:①栓口增设减压孔板,通过增加局部水头损失降低栓口出流动压<sup>[5]</sup>,常规的DN65栓口在该进口压力下适配的孔口直径约为20~24 mm,由于不同水位工况下减压孔板均会产生动能损失,采用此方式时需复核低水压/低水位工况下消火栓的出流动压值,也需满足不低于0.35 MPa要求;②室内消火栓已不在CCCF强制性产品认证名录内,也可由专业厂家定制满足进口压力在0.5~1.6 MPa的减压稳压消火栓,并出具相关检测试验报告。

### 3.2 源头减压

当系统大范围超压时,除消火栓本身的减压稳压措施外,还应在管网引入总管上设置减压阀,对系统进行总体减压,减压阀也应根据库区水位工况进行选型。大多数电站在常水位工况下,最低处消火栓超压不高,一般仅为几米至十几米范围内,根据《建筑给水减压阀应用技术规程》(CECS 109:2013),此类电站应采用可调式减压阀中的差压减压阀,且宜优先选用直接作用式,以防止由于减压阀自身水损造成的最不利消火栓压力不足问题。当电站上游水头余量较为充足时,可采用稳压式减压阀,以减少阀后管网的压力波动<sup>[6]</sup>。实际设计中应根据减压阀流量水头损失特性曲线进行选型,在无资料的情况下可按照以下原则选型:①当 $H_3 > 0.15 \text{ MPa}$ 时,选用稳压减压阀;②当 $H_3 \leq 0.15 \text{ MPa}$ 时,选用差压减压阀。此外,在减压阀选型时应优先选择既能降低动压也能降低静压的产品,以维持消防供水管网平时内水压力处于低压运行情况,减少管道渗漏风险。

## 4 结语

在我国大力推进清洁能源建设的背景下,未来3~5年还将有一大批抽蓄电站进入实施阶段。经分析,确定了不同工况组合下的消防供水系统设计方案,并提出以下建议:

① 消防供水系统设计应兼顾死水位工况下最高处消火栓的最低动压要求,以及常水位工况下最低处消火栓的最高静压要求,合理选择系统形式。

② 应通过减压稳压消火栓、减压孔板、减压



阀等措施综合调节消防供水管网的静压与动压,并结合产品参数合理选择。

③ 联动切换式消防供水系统可显著降低消防供水系统综合造价,但应配套相应的安全措施,避免误动作带来的系统安全风险。

#### 参考文献:

- [1] 丘文千. 抽水蓄能电站日调节与周调节方式运行优化模型[J]. 水电与抽水蓄能, 2004, 28(5): 51-54.  
QIU Wenqian. Operation optimization models for pumped storage power stations of daily and weekly regulation mode[J]. Hydropower and Pumped Storage, 2004, 28(5): 51-54 (in Chinese).
- [2] 余天尘. 不同地区抽水蓄能电站的设计洪水计算研究[J]. 广东水利水电, 2021(6): 54-57, 68.  
YU Tianchen. A study on design flood calculation of several pumped storage power stations [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2021(6): 54-57, 68 (in Chinese).
- [3] 曾勤, 谢畔, 韦峰, 等. 消防给水系统中阀门和管网设置对系统安全可靠性的影响[J]. 重庆建筑, 2022, 21(10): 20-22.  
ZENG Qin, XIE Pan, WEI Feng, et al. Influence of valve and pipe network setting on safety and reliability of fire water supply system [J]. Chongqing Architecture, 2022, 21(10): 20-22 (in Chinese).
- [4] 李云, 马慧俊. 消火栓栓口动压超压时减压方式的选择[J]. 中国给水排水, 2021, 37(20): 47-51.  
LI Yun, MA Huijun. Selection of pressure reducing mode for excess dynamic pressure at fire hydrant outlet [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(20): 47-51 (in Chinese).
- [5] 林金成. 消防给水系统减压若干问题探讨及对策[J]. 福建建筑, 2022(10): 120-123, 128.  
LIN Jincheng. Discussion on some problems and countermeasures of fire water supply system decompression [J]. Fujian Architecture & Construction, 2022(10): 120-123, 128 (in Chinese).
- [6] 傅星玮. 给水减压阀在工程中应用探讨[J]. 福建建筑, 2018(6): 127-131.  
FU Xingwei. Study on application of water supply pressure reducing valves in engineering [J]. Fujian Architecture & Construction, 2018(6): 127-131 (in Chinese).

**作者简介:**陈丁力(1990—),男,浙江台州人,本科,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),一级注册消防工程师,主要从事工业与民用建筑消防及给排水设计工作。

**E-mail:**chen\_dl@hdec.com

**收稿日期:**2024-02-22

**修回日期:**2024-04-30

(编辑:沈靖怡)

综合运用自然恢复和人工修复,  
持之以恒推进生态建设