

文章编号:1001-4179(2012)10-0011-03

# 引水式水电站上下游调压室设置条件探讨

饶柏京, 宋春华

(广东省水利电力规划勘测设计研究院, 广东 广州 510635)

**摘要:**引水式水电站在设计过程中往往遇到因调压室尺寸较大从而造价较高或地质条件不良, 需要考虑不设置上下游调压室的问题。而规范中对于设置上下游调压室的条件过于简化。结合最新推导的上下游调压室设置条件, 以乐昌峡水利枢纽工程为例, 探讨了超规范不设置电站上下游调压室的论证方法。可为今后规范的修订及水电站输水系统合理设计提供参考依据。

**关键词:**调压室; 输水系统; 设置条件; 引水式水电站

**中图分类号:** TV732.5      **文献标志码:** A

《水电站调压室设计规范》(DL/T5058-1996)中关于设置上游调压室的判别规定, 当水流惯性时间常数  $T_w$  值大于 2~4 s 时, 需要设置上游调压室<sup>[1]</sup>; 设置下游调压室以尾水管不产生液柱分离为前提, 其压力尾水道临界长度按下式计算。

$$L_w > \frac{5T_s}{v_{w0}} \left( 8 - \frac{\nabla}{900} - \frac{v_{wj}^2}{2g} - H_s \right) \quad (1)$$

式中,  $L_w$  为尾水道长度;  $T_s$  为水轮机导叶关闭时间;  $v_{w0}$  为稳定运行时压力尾水道中的流速;  $v_{wj}$  为水轮机转轮后尾水管入口处的流速;  $H_s$  为吸出高度;  $\nabla$  为机组安装高程。

在设计过程中, 往往遇到电站引水系统、尾水系统长度按上述要求均需设置上下游调压室的问题。但考虑厂房区域地质条件不好, 设置调压室对厂房区域的围岩稳定不利, 且设置调压室增加的投资较多, 因此需要考虑不设置上下游调压室的问题。因上游调压室设置条件不是一个简单变化范围, 而是取决于设计允许的  $\xi_{\max}$ 、 $\beta_{\max}$  以及  $T_a$  等参数, 而下游调压室设置条件也未考虑到水锤真空最大值与流速水头真空最大值的时序关系, 仅简单地将二者相加等同为尾水管最大真空, 使得尾水临界长度计算值偏小, 不利于工程设计。所以针对工程具体情况, 有必要对规范中关于设置上下游调压室的判别规定作进一步探讨。

## 1 调压室设置条件分析

### 1.1 上游调压室设置条件分析

设置上游调压室不仅是为了减小蜗壳最大动水压力, 而且能够缓解水击压力和机组转速升高率之间的矛盾, 所以设置上游调压室的判别式, 即水流加速时间的允许值  $[T_w]$  应取决于设计允许的水击压力升高相对值  $\xi_{\max}$ 、机组转速升高相对值  $\beta_{\max}$  以及  $T_a$  等参数。通过对上游调压室设置条件进行理论推导, 得出上游调压室设置条件的  $T_w$  允许值计算公式为<sup>[2]</sup>:

$$[T_w] = \begin{cases} \frac{t_r \xi_{\max} [T_a \beta_{\max} (\beta_{\max} + 2) - 2T_c]}{t_r \varepsilon f(\xi_{\max} + 2) - T_a \xi_{\max} \beta_{\max} (\beta_{\max} + 2) + 2\xi_{\max} T_c} & \text{(一相水击)} \\ \frac{2\xi_{\max} [T_a \beta_{\max} (\beta_{\max} + 2) - 2T_c]}{\varepsilon f(\xi_{\max} + 2)} & \text{(末相水击)} \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $[T_w]$  是  $T_w$  的允许值;  $\varepsilon = T_n/T_s$ ;  $T_c$  为调节迟滞时间;  $T_n$  为升速时间;  $t_r$  为相长;  $T_a$  为机组惯性时间常数。

由于此处判别式和  $\xi_{\max}$  密切相关, 所以以此判别式判断  $T_w$  值时  $L_i$  只是上游压力管道的长度。

### 1.2 下游调压室设置条件分析

下游调压室的作用是缩短尾水管道长度, 减小甩

负荷时尾水管的真空度,防止水柱分离,提高水电站的运行稳定性和供电品质。尾水管内真空由水锤真空与流速水头真空两部分组成,二者在机组甩全负荷过程中均随时间变化,其最大值分别发生在不同的时刻。如果在任一时刻,水锤真空与流速水头真空共同产生的最大值小于允许值(例如 8.0 m),尾水管内将不会出现液柱分离的现象。式(1)未考虑水锤真空最大值与流速水头真空最大值的时序关系,仅简单地将二者相加等同为尾水管最大真空,使得尾水临界长度计算值偏小。定义水锤真空与流速水头真空是随时间变化的综合函数,考虑水锤真空与流速水头真空时序效应,得到该综合函数产生峰值的时刻,就可以准确地得到尾水管最大真空,从而推导出比较合理的尾水临界长度计算公式。经推导得出的末相水击尾水洞临界长度公式为<sup>[3]</sup>:

$$L_{wm} = K \frac{gT_s}{2V_{w0}} (2 - \sigma) \frac{8 - \frac{\nabla}{900} - H_s - \frac{V_{wj}^2}{2g} \left( \frac{V_{wj}^2}{2gH_0} \right)^{\frac{2\sigma}{2-3\sigma}}}{1 - \left( \frac{V_{wj}^2}{2gH_0} \right)^{\frac{2-\sigma}{2-3\sigma}}} \quad (3)$$

式中,  $V_{w0}$  为尾水道平均速度;  $T_s$  为水流惯性常数;  $\sigma$  为阀门开度变化时管道中水流动量的相对变化率;  $V_{wj}^2$  为尾水管进口流速。

## 2 应用实例

本文以广东省乐昌峡水利枢纽工程为例,对这种超规范不设置电站上下游调压室的可行性进行逐一论证。

### 2.1 电站基本资料

乐昌峡水利枢纽工程初步设计阶段的输水系统布置为:引水、尾水隧洞均采用 1 管 1 机共 3 管 3 机的输水方式,输水系统总长 582.9 m(3 号机),其中引水系统长 271.8 m,尾水系统长 311.1 m。引水隧洞管径为 6.2 m,引水钢管直径为 5.4 m,尾水隧洞管径为 6.8 m。电站基本资料见表 1。

表 1 电站基本资料

额定水头/ m	额定转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	额定出力/ kW	机组额定流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	转轮直径/ m	机组飞轮矩/ (t·m <sup>2</sup> )	机组安装高程/ m	机组允许转速升高 相对值/%	蜗壳允许水击压力升高 相对值/%	尾水管允许最大真空度/m
42.40	136.4	44924.69	118.04	3.85	7000	88	60	50	8

### 2.2 设置条件计算分析

#### 2.2.1 上游调压室设置条件计算分析

以 3 号机组所在的引水发电管线下恒定流结果为例,对设置上游调压室与否进行论证。3 号机组在额

定水头  $H_p = 42.40$  m 满发时,单机引用流量 118.04 m<sup>3</sup>/s,压力水道的水流惯性时间常数  $T_w = \sum L_i v_i / gH_p = 5.28$  s,按照规范要求需设置上游调压室。分析该电站为末相水击,按式(2)计算得出该电站  $[T_w]$  允许值为 3.931 s。经计算,本电站上游侧  $T_w$  值为 3.084 2 s,小于 3.931 s,可不设置上游调压室。

#### 2.2.2 下游调压室设置条件计算分析

该电站是否需要设置下游调压室,可根据《水电站调压室设计规范》(DL/T5058-1996)中的公式(1)先进行判别,按式(1)计算的尾水道临界长度为 250.4 m,电站尾水洞长度为 335.35 m(含尾水肘管长度)。由规范判定该水电站需要设置下游调压室。而根据式(3)计算得出本电站的尾水洞临界长度为 389.76 m,该电站 3 号尾水洞长度为 335.35 m,小于临界长度,无需设置下游调压室。

## 2.3 过渡过程计算对比分析

### 2.3.1 大波动过渡过程比较

在不设置上游调压室情况下,比较设置下游调压室与不设置下游调压室两方案大波动调保参数差异,设置下游调压室方案在机组中心线下游 140 m 处设置一座调压井,经优化后的调压井尺寸为:阻抗孔直径 3.0 m,大井直径 18 m。导叶关闭规律的优化:优化计算中作者使转速上升率  $\beta$  接近设计标准 ( $[\beta]_{\max} = 60\%$ ),一方面是因为  $\beta$  隐含对小波动过渡过程的要求,在小波动调节品质满足要求的前提下,导叶关闭规律优化中可以用足甚至适量超过  $[\beta]_{\max}$ ;另一方面是更有利于进行其他调保参数的比较<sup>[4]</sup>。故优化原则为在满足机组最大转速上升率不超过设计限定值前提下,使蜗壳末端最大动水压力和尾水管进口最大真空度尽可能地留有裕度。经优化调整,设置下游调压室方案的导叶采用折线关闭规律,导叶关闭时间 11 s,折点位置(2.8,63);不设置下游调压室方案的导叶采用折线关闭规律,导叶关闭时间 11 s,折点位置(2.5,59)。见图 1。

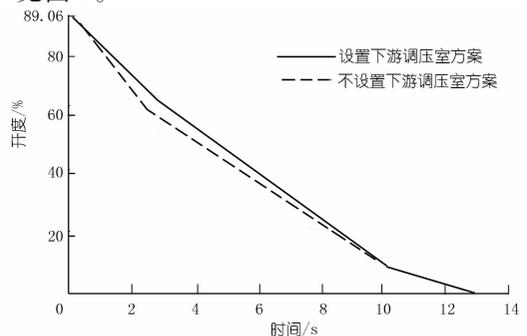


图 1 设置与不设置下游调压室导叶关闭规律比较

在无上游调压室的条件下,对设置与不设置下游调压室两种方案进行了各种工况的计算分析<sup>[5]</sup>,其中设置下游调压室方案需考虑尾水管真空度的叠加工况<sup>[6]</sup>,计算成果见表 2。

由表 2 可知,无上游调压室条件下,不设置下游调压室对尾水管进口断面最小动水压力影响较大,设置下游调压室对尾水管真空有较大改善。其他各设计参数控制值变化不大,但两方案均能满足设计要求。

表 2 设置与不设置下游调压室方案大波动调保参数比较

计算工况	蜗壳末端最	蜗壳末端最	尾水管进口断面	尾水管进口断面	转速最大
	大动水压力	小动水压力	最小动水压力	最大动水压力	上升率
	$H_{pmax}/m$	$H_{pmin}/m$	$H_{Bmax}/m$	$H_{Bmax}/m$	$\beta_{max}/\%$
不设置下游调压室	90.38	45.463	-5.061	28.53	59.858
设置下游调压室	91.15	45.563	-2.343	28.55	59.197

### 2.3.2 小波动过渡过程比较

以上对两方案小波动控制工况进行了计算,计算成果如下:设置下游调压室方案的小波动调节时间( $\pm 0.4\%$ 带宽)为 40 s,不设置下游调压室方案的小波动调节时间( $\pm 0.4\%$ 带宽)为 48.4 s,具体转速衰减过程详见图 2。

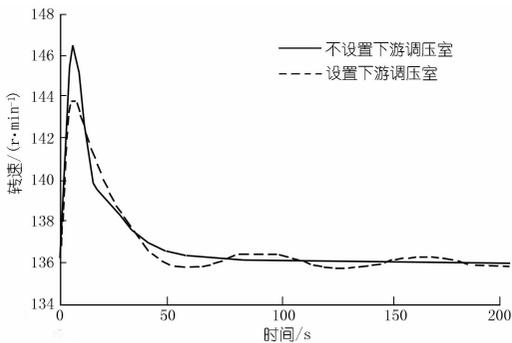


图 2 设置与不设置下游调压室转速变化过程比较

当调速器参数在常规取值范围内合理取值后,无论设置下游调压室与否,水力系统小波动都是稳定的,当不设置下游调压室时,小波动幅值增加,波动和稳定性变差,但衰减更快。

### 2.4 讨论

从设置条件计算分析来看,该电站存在不设置上游调压室的条件。表 2 中不设置下游调压室方案的计算结果就是在无上游调压室情况下进行计算的,通过大波动计算结果可以得出,不设置上游调压室各调保参数尾水管真空度、蜗壳末端最大动水压力及机组转速最大升高均满足设计要求。从小波动过渡过程计算来看,不设置上游调压室小波动调节品质较好。以上也说明了采用式(2)作为上游调压室设置条件的判别

式是可行的。

从设置条件计算分析来看,该电站存在不设置下游调压室的条件。通过对比下游调压室设置与否的两方案水力过渡过程计算结果可以看出,设置调压室方案下大波动仅尾水管进口最小动水压力有改善,其他两个控制参数没明显变化,且不设置下游调压室方案的大波动三项调保控制参数均能满足规范要求,并有一定裕度,不设置下游调压室方案小波动过渡过程仍然是稳定的,且衰减较快调节品质较好。以上也说明了采用式(3)作为下游调压室设置条件的判别式是可行的。

综上所述,该电站不设置上下游调压室的方案技术上可行,投资较省,对整个地下厂房区域的围岩稳定有利,故输水系统布置可不设置上下游调压室。

### 3 结语

引水式水电站在设计过程中常遇到引水系统、尾水系统长度按规范要求均需设置上下游调压室,但受厂房区域地质条件不好等因素影响,需要考虑不设置上下游调压室的情况。建议采用考虑水流加速时间的允许值 $[T_w]$ 与设计允许的 $\xi_{max}$ 、 $\beta_{max}$ 以及 $T_a$ 等参数关系的上游调压室条件式(2),和考虑水锤真空与流速水头真空时序效应的下游调压室条件式(3)进行判断,在引水系统、尾水系统长度不超出式(2)、(3)范围的条件下,需要对不设置上下游调压室的输水系统进行详细的大波动、小波动计算,找到调压室设置前后大小波动过渡过程计算结果的差别和对机组及调保参数的影响,通过以上工作的详细论证方可得出不设置上下游调压室的结论。

### 参考文献:

- [1] DL/T 5058-1996 水电站调压室设计规范[S].
- [2] 杨建东,汪正春,詹佳佳,等.上游调压室设置条件探讨[J].水力发电学报,2008,27(5).
- [3] Zhao Guilian, Yang Jiandong, Xu Yuanjie, et al. Research on the condition to set a tailrace surge tank [J]. Journal of Hydrodynamics, 2004, 16(4): 486-491.
- [4] 高志芹,杨建东.机组转动惯量 GD2 的取值及对水电站过渡过程的影响[J].水电能源科学,2004,23(2).
- [5] 詹佳佳.水电站过渡过程大波动计算工况分析[J].湖北电力,2008,(2).
- [6] 刘和兵,李进平,杨建东,等.尾水管真空度的计算工况拟定及数值计算[J].水电能源科学,2004,(4).

(编辑:徐诗银)

(下转第 16 页)

所创新。栅栏连锁块减小了护坡厚度和坝顶高程,增强了大坝坝坡消浪效果并提高了护坡整体稳定性;研制开发的适用于工厂化制作的栅栏连锁混凝土砌块技术设备,实用性强,造价低,易于推广应用。研究了砌块在各工况风浪作用下的波浪爬高与连锁块类型的关系,给出了糙率及渗透系数的取值范围,解决了同类护砌型式对坝顶超高影响程度无法计算的难题。

栅栏混凝土连锁块护坡以其新颖的外观,优越的

抗风浪能力,方便快捷的生产工艺、施工工法及质量容易控制等优点,通过在鸭河口水库大坝上游护坡中的应用,积累了连锁块厚度计算、生产、铺筑、质量控制、施工工法及质量评定等经验,解决了传统块石护坡技术在石料开采、铺筑施工、质量控制等方面的弊端,对波浪爬高大、砌块较厚、工期紧的水库、湖泊等水利工程的护坡工程更能突出其优越性。

(编辑:徐诗银)

## Application of new interlocked concrete fence block in dam slope protection of Yahekou Reservoir

LIU Lanqin, YUAN Qingchao, DONG Zhenfeng

(Henan Water and Power Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China)

**Abstract:** Limited material resource, construction period and environmental factor restrict the application of crushed rock re-  
vetment, and the construction quality as well as block stone quality is difficult in meeting design requirement. After comparison  
and selection of several schemes and model analysis, a new interlocked concrete fence block is suggested for upstream dam slope  
protection of Yahekou Reservoir in Henan Province. The outline of the interlocked block is rectangle with symmetrical flat of left  
and right sides, symmetrical interlocked surface of the front and back sides, flat bottom and the flat top side or with coursing rid-  
ges. The interlocked concrete fence block combined the advantages of increasing roughness and dissipating surge, dissipating  
surge by fence board and space interlocking, and reduced the thickness more than 50 percent of the building blocks than ordinary  
concrete block, and eliminated the drawbacks of the traditional slope protection, which can provide a reference for similar pro-  
jects.

**Key words:** interlocked fence block; space interlocking; heteromorphosis anchor beam; roughness increasing ridge; dam slope  
protection

(上接第 13 页)

## Discussion on setting condition of upper and downstream surge chamber of diversion - type hydropower station

RAO Bojing, SONG Chunhua

(Guangdong Provincial Investigation, Design and Research Institute of Water Conservancy and Electric Power, Guangzhou  
510635, China)

**Abstract:** In the design process of diversion - type hydropower station, the unfavorable conditions such as large size of surge  
chamber, higher cost, and adverse geological conditions are frequently encountered, so the cancel of the upper and downstream  
surge chamber is needed to be considered. However, the setting condition of upper and downstream surge chamber is too simple  
in the standard. Combining with the proposed conditions of the upper and downstream surge chamber setting, taking the Lechan-  
xia Hydraulic Complex as an example, the demonstration method of canceling the upper and downstream surge chamber, which  
is not specified in the standard, is discussed. It provides reference for standard revision and reasonable design of diversion water  
system of hydropower stations.

**Key words:** surge chamber; diversion water system; setting condition; diversion - type hydropower station