

文章编号: 1007-6492(1999)03-0004-02

## 阻抗式调压室水位小波动稳定性研究

杨玲霞, 吴建平

(郑州工业大学水利与环境工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 针对阻抗式调压室水位波动时底部水流的流态特性, 分析了小波动情况下阻抗损失的变化规律, 认为按阻抗损失与速度的一次方成比例来考虑阻抗作用较为合理. 将其引入基本方程式中进行稳定性分析后, 推导出阻抗式调压室水位在小波动情况下的稳定条件及临界稳定断面计算公式. 结果表明, 选择适当大小的阻抗型式, 有助于提高调压室水位小波动的稳定性, 相应的调压室临界稳定断面将小于托马临界稳定断面.

**关键词:** 调压室; 阻抗; 稳定断面

**中图分类号:** TV 732.5 **文献标识码:** A

### 0 引言

阻抗式调压室如图 1 所示, 研究水位波动稳定性问题的方程由以下 3 个方程组成

$$\begin{cases} \frac{L}{g} \frac{dv}{dt} + z + Fv^2 + h_r = 0, \\ Q = vA_T - A_s \frac{dz}{dt}, \\ Q(H + z + h_r) = C. \end{cases}$$

式中:  $L$ 、 $A_T$  和  $v$  分别为上游引水洞的长度、断面面积和水流流速;  $Q$  和  $H$  分别为电站的引用流量和毛水头;  $z$  为调压室水位;  $A_s$  为调压室横断面积;  $F$  为引水洞的水头损失系数;  $C$  为常数,  $C = Q_0(H + z_0)$ ;  $Q_0$  和  $z_0$  分别为波动稳定时电站的引用流量和调压室水位;  $h_r$  为阻抗损失.

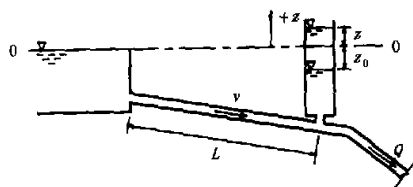


图 1 调压室系统图

在许多文献中, 均取  $h_r = \xi \left( \frac{dz}{dt} \right)^2$ , 即认为阻抗损失与调压室中水位变化速度的平方成比例<sup>[1,2]</sup>. 这显然仅适用于通过调压室底部阻抗孔

口的水流为阻力平方区的流态情况. 而实际上调压室水位变化速度是正负交替的, 且周期较长, 通过阻抗孔口的水流并不全部处于阻力平方区. 特别是在调压室水位变化为小波动情况(实际中经常出现的)时, 通过阻抗孔口的水流可能全部属于层流<sup>[3]</sup>. 因此, 对于小波动而言, 按阻抗损失与速度成一次方关系的变化规律确定阻抗损失, 应该更接近实际情况.

### 1 阻抗式调压室水位小波动稳定条件

根据上述分析, 取  $h_r = \xi \frac{dz}{dt}$ , 其中  $\xi$  为阻抗系数, 取决于具体的阻抗型式及尺寸大小, 由实验确定. 此时方程式变为

$$\frac{L}{g} \frac{dv}{dt} + z + Fv^2 + \xi \frac{dz}{dt} = 0, \quad (1)$$

$$Q = vA_T - A_s \frac{dz}{dt}, \quad (2)$$

$$Q(H + z + \xi \frac{dz}{dt}) = C, \quad (3)$$

消去  $Q$  和  $v$ , 并记

$$z' = \frac{dz}{dt}, z'' = \frac{d^2z}{dt^2},$$

$$\begin{aligned} & \text{得 } (A_s M^2 - C\xi) z'' - C z' + \frac{g A_T M^2}{L} z + \frac{g F C^2}{L A_T} + \\ & \frac{2 g F C A_s M}{L A_T} z' + \frac{g F A_s^2 M^2}{L A_T} z'^2 + \frac{g \xi A_T M^2}{L} z' = 0, \quad (4) \end{aligned}$$

收稿日期: 1999-03-20; 修订日期: 1999-05-03

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(954090114)

作者简介: 杨玲霞(1958-), 女, 河南省焦作市人, 郑州工业大学副教授, 硕士, 主要从事水力学和流体力学方面的研究.

其中:  $M = H + z + \xi z'$ .

对上式进行驻定化, 即令  $z = z_0 + s$ ,

记  $H_0 = H + z_0$ ,

又  $z' = s', z'' = s''$ ,

则  $M = H_0 + s + \xi s'$ ,

将以上各表达式代入式(4), 并注意到  $z_0 = -Fv_0^2$ , 忽略二阶以上小量后, 化简整理得

$$\left(A_s - \frac{C\xi}{H_0^2}\right)s'' + \left[\frac{g\xi A_T}{LH_0}(H_0 + 2z_0) - \frac{C}{H_0^2}\left(1 - \frac{A_s}{A_{Th}}\right)\right]s' + \frac{gA_T(H_0 + 2z_0)}{LH_0}s = 0,$$

其中:  $A_{Th} = \frac{LA_T}{2gFH_0}$ , 为托马断面.

令  $a = A_s - \frac{C\xi}{H_0^2}$ ;

$$b = \frac{g\xi A_T}{LH_0}(H_0 + 2z_0) - \frac{C}{H_0^2}\left(1 - \frac{A_s}{A_{Th}}\right);$$

$$c = \frac{gA_T}{LH_0}(H_0 + 2z_0),$$

则上式变为

$$a s'' + b s' + c s = 0, \quad (5)$$

上式为一常数二阶微分方程式, 其稳定条件应为:  $a > 0, b > 0$  及  $c > 0^{[4]}$ .

$$a > 0, \text{ 即 } A_s > \frac{C\xi}{H_0^2},$$

$$\text{令 } A_1 = \frac{C\xi}{H_0^2}, \quad (6)$$

$$\text{则 } A_s > A_1; \quad (7)$$

$b > 0$ , 即

$$A_s > \left[1 - \frac{g\xi A_T H_0}{LC}(H_0 + 2z_0)\right]A_{Th}.$$

$$\text{令 } A_2 = \left[1 - \frac{g\xi A_T H_0}{LC}(H_0 + 2z_0)\right]A_{Th}, \quad (8)$$

$$\text{则 } A_s > A_2; \quad (9)$$

$c > 0$ , 即

$$-z_0 = Fv_0^2 < \frac{H}{3}. \quad (10)$$

式(7)、式(9)和式(10)即为阻抗式调压室小波动稳定条件. 当3个条件同时满足时, 阻抗式调压室水位小波动是衰减的.

## 2 讨论

条件(10)是托马第2条件, 且在一般电站中均能满足, 因此条件(10)不起控制作用.

分析式(6)和式(8)可知: 当阻抗系数  $\xi$  增大时,  $A_1$  增大,  $A_2$  减小.  $A_1, A_2$  随  $\xi$  的变化规律如图2所示.

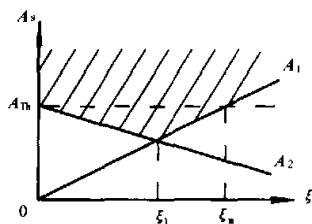


图2 小波动稳定域

令  $A_1 = A_2$ ,

$$\text{即 } \frac{C\xi}{H_0^2} = \left[1 - \frac{g\xi A_T H_0}{LC}(H_0 + 2z_0)\right]A_{Th},$$

解得  $\xi = Lv_0/(gH_0)$ .

令  $\xi_1 = Lv_0/(gH_0)$ . (11)

由图2可知: 式(7)和(9)同时满足的区域为图中的阴影部分. 当实际的阻抗系数  $\xi = \xi_1$  时, 式(7)与(9)等价; 当  $\xi < \xi_1$  时, 式(9)起控制作用; 当  $\xi > \xi_1$  时, 式(7)起控制作用. 另外, 由式(9)决定的调压室临界稳定断面可以始终小于托马断面, 而由式(7)决定的调压室临界稳定断面当  $\xi$  很大时将大于托马断面. 这说明阻抗值增大到一定程度时, 反而对稳定不利. 考虑到阻抗增大还对压力钢管中的水击波反射不力、穿室水击较大的不良影响, 可取图2中所示  $\xi_m$  为阻抗系数的上限. 令

$$A_1 = A_{Th},$$

可解得  $\xi_m = LA_T/(2gFQ_0)$ .

在实际设计中, 可采用阻抗系数  $\xi$  小于  $\xi_m$  的阻抗型式, 最好取  $\xi \leq \xi_1$ . 这样既可以保证所需要的调压室稳定断面较小或最小, 降低工程造价, 又可以避免穿室水击过大.

$A_1$  或  $A_2$  即为阻抗式调压室水位小波动临界稳定断面面积. 实际中, 只要所设调压室横断面面积同时大于  $A_1$  与  $A_2$ , 就能保证水位小波动是稳定的.

## 3 结论

(1) 对于小波动情况, 可按阻抗大小与调压室水位变化速度成线性关系考虑阻抗对小波动稳定性的影响.

(2) 选择适当大小的阻抗, 有助于提高调压室水位小波动的稳定性.

(3) 合理地设计阻抗大小, 既可以减小调压室稳定断面, 又有利于水击波的反射.

(下转 44 页)

## A Note on Structure Theorem of Derivative & Primary Function

CHENG Li - She

(Department of Mathematics, Physics & Mechanics, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** This paper study the theorem inferred from the qualities of the derivative and the structure of the function to the qualities of the structure of its primary function and amends it, and also states the generalization of the theorem after amendment. Moreover, it gets the result that not only the quality of the primary function's structure, but the quality of its higher - order derivative's structure can be inferred from the quality of the structure of this kind of function itself and of its derivative, thereby achieving the unity of the mutual inverse computation between the primary function and its higher - order derivative.

**Key words:** derivative; primary function; structural theorem

(上接 5 页)

### 参考文献:

- |   |   |
|---|---|
| [1] 王树人. 调压室水力计算理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1983.          | [3] 杨灵霞, 刘子榕. 低水头水电站调压室稳定断面研究[J]. 郑州: 郑州工学院学报, 1986, 7(1): 37 - 54. |
| [2] 李新新. 阻抗式调压室的稳定性[J]. 水利电力科技, 1993, 20(3): 26 - 34. | [4] 王柔怀, 伍卓群. 常微分方程讲义[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978.                        |

## Study on the Stability of Small Undulation in the Orifice Surge Tank

YANG Ling - xia, WU Jian - ping

(College of Hydraulic & Environmental Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** According to the fluid characteristics of the bottom current about the water level undulation in the orifice surge tank, this paper discusses the orifice loss of the orifice surge tank in the case of small water level undulation, and considers it reasonable that orifice loss is proportional to the first power of velocity. Then, stability of small undulation is investigated by leading the above into the fundamental equation. Stability judgement term and the method for calculating the critical stable cross - sectional area in the case of small water level undulation in the orifice surge tank are given. The result indicates that, if suitable orifice loss of the orifice surge tank is selected, the stability of the orifice surge tank in the case of small water level oscillation is improved, and also the critical stable cross - sectional area is less than Thoma's critical stable cross - sectional area.

**Key words:** surge tank; orifice; stable crosssection