

关于设置尾水调压室条件的商讨*

季奎 刘文立

(郑州工学院)

摘要: 本文推荐了计算尾水隧洞临界长度公式, 并与国内外有关公式进行了比较、论证, 认为国内现用公式偏于保守, 建议用补气的方式替代尾水调压室, 并推导出了补气量与通气孔的计算方法。

关键词: 尾水临界长度, 液柱分离, 半气垫式调压室, 吸出高度

中国图书分类号: TV732

在水电开发中, 由于地形地质条件的限制, 常常要采用长尾水隧洞的开发方式, 如地下电站的首部及中部开发方式等。

如果有压尾水隧洞太长, 在机组甩负荷时, 长尾水管内由于压力下降将产生真空, 从而产生液柱分离现象, 当真空度达到一定值后还将引起尾水的水流向反方向流动, 形成反水锤使机组上抬(很多文献称之为“抬机现象”), 这种现象对机组有极大的破坏作用, 目前已引起有关人员的极大关注。

由于尾水隧洞的断面尺寸比引水道的断面尺寸大得多, 故流速较小, 因此水击压力不会太大, 而问题最严重的是如何防止甩负荷时出现高度真空而引起的液柱分离和由此进一步引起的反水击现象。目前解决的方法之一就是尾水上修建尾水调压室。设置尾水调压室的目的是缩短尾水计算长度, 使尾水管内不产生液柱分离, 目前世界各国都是以管内是否产生液柱分离为其是否设置尾水调压室的主要条件。因为不产生液柱分离也就不会有太大的反水锤压力出现。

1 尾水临界长度公式的推导

尾水隧洞越长越容易在甩负荷时引起液柱分离, 所谓尾水临界长度就是保证尾水管内不出现液柱分离的极限长度, 超过临界长度就要建尾水调压室, 一般认为只要保证尾水的真空度为 8~9 米即可保证不发生液柱

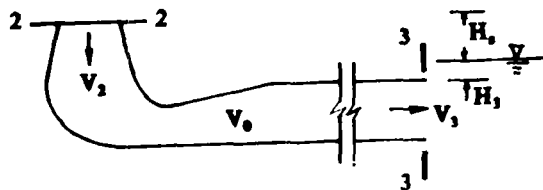


图 1

* 收稿日期: 1990.08.25

分离现象。在公式推导中假定尾水管壁的弹性与水体的压缩性对水力过度过程没有影响,即用刚性水击理论来推导,并假定导水机构为直线关闭。推导简图如图 1 所示。

根据不稳定流可以写出 2-2, 3-3 断面的能量方程:

$$\frac{P_2}{\gamma} + H_2 + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} - H_3 + \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} + h_w$$

由图知, $H_3 = \frac{P_3}{\gamma}$

则 $LdV = \left[\frac{P_2}{\gamma} + H_2 + \frac{V_2^2}{2g} - (1 + \xi) \frac{V_3^2}{2g} \right] dt$

$$L \int_{v_0}^0 dV = \left[\frac{P_2}{\gamma} + H_2 + \frac{V_2^2}{2g} - (1 + \xi) \frac{V_3^2}{2g} \right] \int_0^{t_n} dt$$

设 $\frac{P_2}{\gamma} = -8 \text{ 米}$

得 $L = \frac{T_s g}{V_0} \left[8 - H_2 - \frac{V_2^2}{2g} + (1 + \xi) \frac{V_3^2}{2g} \right]$

因为 ξ 为 L 的隐函数, 而 L 尚未知, 且 V_3 将由 $V_3 \rightarrow 0$, 我们忽略水头损失项, 同其它公式一样, 在前面加一修正系数 K , 则上式变为

$$L_{m1} = K \frac{T_s g}{V_0} \left(8 - H_2 - \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (1)$$

式中 K 取 0.6~0.7. (以便同其它公式相比较)

公式 (1) 即为本文推荐的计算尾水管不设尾水调压室的临界长度公式。

2 几种公式的比较

目前计算尾水临界长度的公式有如下几种:

苏联 $\Phi \cdot \Phi$, 古宾教授公式

$$L_{m2} = 3 \frac{T_s}{V_0} \left(8 - H_2 - \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (2)$$

我国机电设计手册推荐公式 ($\Gamma \cdot \Pi$, 克里夫琴科公式)

$$L_{m3} = K \frac{g T_s}{2 V_0} \left(8 - H_2 - \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (3)$$

武汉水院赵群, 陈鉴治教授推荐公式

$$L_{m4} = K \frac{g T_s}{2 V_0} (2 - \sigma) \left(8 - H_2 - \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (4)$$

长沙院李佛炎工程师推荐公式

$$\sum L_m \leq (0.9 \sim 0.78) \frac{gT_s}{k V_0} (H_v - H_s - \varphi^2 \frac{V_2^2}{2g}) \quad (5)$$

上述公式中各参数意义如下:

T_s —关机时间; V_0 —尾水隧洞中稳定流时的流速;

H_s —吸出高度; V_2 —尾水进口处流速;

K —系数, 取0.6~0.7; K' —系数, 取1.2;

σ —管道常数; φ —系数, 取1.0~0.5;

如果我们取 $T_s = 10$ 秒, $H_s = -8$ 米, $V_0 = 3$ 米/秒

则得

$$L_{m1} = 354 \text{ 米} \quad L_{m2} = 155 \text{ 米}$$

$$L_{m3} = 177.4 \text{ 米} \quad L_{m4} = 263 \text{ 米}$$

$$L_{m5} = 379 \sim 328 \text{ 米}$$

如取 $T_s = 10$ 秒, $H_s = 2$ 米, $V_0 = 3$ 米/秒

则得

$$L_{m1} = 125.6 \text{ 米} \quad L_{m2} = 55 \text{ 米}$$

$$L_{m3} = 63 \text{ 米} \quad L_{m4} = 94 \text{ 米}$$

$$L_{m5} = 133 \sim 116 \text{ 米}$$

而美国设置尾水调压室的条件为 $\sum LV > 1800$ 米²/秒, 如果同样取 $V = 3$ 米/秒, 则 $L_m \geq 600$ 米。可见上述五个公式的计算结果都小于此值。

苏联所采用的临界值 (L_{m2}) 则比较低, 他们认为在有压排水道中为了避免水轮机停机时连续水流的间断, 甚止在排水道比较短的情况下设置下游调压室也是必要的。Mitsuo Takahsk 提出的试验结论指出: 如果尾水隧洞的长度小于 300 米, 流速小于 6 米/秒, 则管内不会发生液柱分离现象。这与美国的规定基本相符。

由上列各公式可知, 临界长度不但与尾水道中的流速有关, 而且还与关机时间和吸出高度有关, 而关机时间又与上游引水系统有关, 因此要进行全面考虑, 综合分析, 从而选出一个最优匹配的方案。

上列公式的推导采用了一些假定条件, 这与实际是有出入的, 而且没有考虑水轮机特性的影响。实际上轴流式与混流式在过渡过程中流量变化是不同的, 轴流式随着转速的增加流量也增加, 而低比转速的混流式就没有这一性质。目前这方面的试验和实测数据很少, 因此上述公式的应用要详细分析研究。

3 补气体积及通气孔设计

既然世界各国都是以尾水中是否出现液柱分离为其设置尾水调压室的主要条件,而目前关机方式大都采用分段关机,因此笔者认为,对尾水临界长度可以放宽一些,但为了安全起见,建议在尾水道上加几个通气孔。如果完全用补气的方式来代替调压室,则补气孔的设计原则是使尾水洞内的压力不

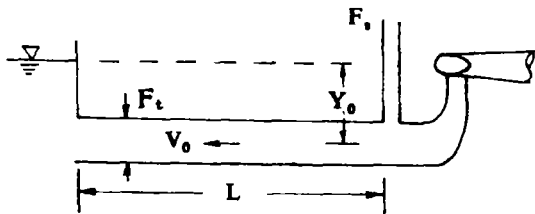


图 2

低于大气压力, 低于大气压力时就补气, 从而求出补气量, 就可以对通气孔进行设计。

如图 2 忽略摩阻损失, 则动力方程为:

$$\frac{L}{g} \frac{dV}{dt} + y_0 = 0$$

积分后得

$$V = V_0 - \frac{gy_0}{L} t$$

补气体积为

$$V = \int_0^t F_t V dt = F_t V_0 t - \frac{gF_t}{L} y_0 t^2$$

当 $t = \frac{LV_0}{gy_0}$ 时, 隧洞中的流速降为零, 代入上式得

$$V = \frac{LF_t}{y_0} \cdot \frac{V_0^2}{2g}$$

式中

V —进气体积; L —尾水洞长; F_t —尾水洞断面积;

y_0 —下游水位至隧洞中心距离; V_0 —隧洞稳定流时流速。

设进气孔断面积为 F_s , 进气流速为 V_s , 则应有

$$F_s V_s t = \frac{LF_t}{y_0} \frac{V_0^2}{2g}$$

$$\text{即 } F_s V_s \frac{LV_0}{gy_0} = LF_t / y_0 \cdot V_0^2 / 2g$$

$$F_s / F_t = V_0 / 2V_s$$

如设 $V_0 = 3$ 米/秒, $V_s = 30$ 米/秒。

$$\text{则 } F_s / F_t = \frac{1}{20}$$

可见采用较小的通气孔断面即可满足要求, 在工程实践中, 可在尾水洞轴线上用大口径钻机打一排通气机, 如图 3 所示。这种用钻孔的方法来取代造价昂贵的地下开挖工程, 将会大大降低造价, 方便施工。

如果受其它条件的限制, 不允许采用通气孔方案, 而要求设置一定容积的调压室方案, 以使电站运行稳定, 在地形地质条件许可时, 笔者建议选用半气垫式尾水调压室最为理想, 如图4所示, 其理由是尾水可以进气而不同于上游引水系统绝对不能进气。利用气体可压缩的性能, 尾水进气可以起到气垫的作用, 使水击波速减慢, 从而降低水击压力, 避免液柱分离现象的发生。

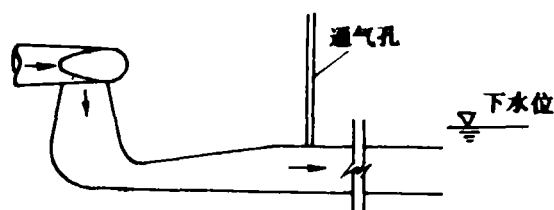


图3

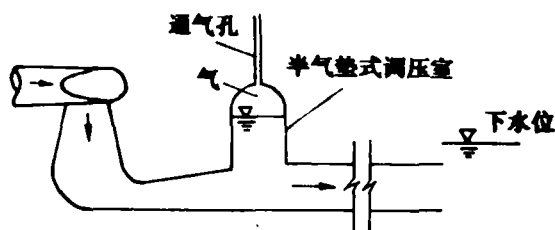


图4

有关尾水调压室的理论资料很少, 试验和运行中的实测资料更少, 本文中的观点仅供参考、讨论, 在参加全国调压室规范会议中听取了全国各方面专家的意见, 受益匪浅, 同时本文中有不少地方取用了会议上的有关资料, 在此特表示感谢。

参 考 文 献

- (1) C耶格尔 王树人等译. 水力不稳定流. 大连工学院出版社. 1987
- (2) Ф.Ф.古宾 徐锐等译. 水力发电站. 水利电力出版社. 1983
- (3) 赵群. 调压室设置条件的研究. 武汉水利电力学院出版. 1986
- (4) Г.В.克里夫琴科. 常兆堂等译. 水电站动力装置中过渡过程. 水利电力出版社. 1981

A Discussion of The Condition For Setting Tailwater Surge Tank

Ji Kui Liu wenli

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: In present paper a formula for the critical length of tailwater tunnel has been proposed and compared with those used by engineers at home and abroad. The results show some formulas applied in our country are conservative. The writer has proposed a new way that tailwater surge tank can be substituted by an air hole through which air is compensated. And a caculation method for air compensation and air holes has been derived.

Keywords: Tailwater critical length, air curshion surge tank, water column seperation, the height of exhaustion.