标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

文章编号: 1002-5855(2009)01-0009-04

水泵出口阀门类型选择的研究
——采用气压式调压室的输水系统

郑大琼[1],马冬[2],王念慎[1]
(1. 中国水利水电科学研究院,北京 100038; 2. 北京国电华北电力工程有限公司,北京 100011)

摘要 通过对采用气压式调压室作为水锤防护措施的不同类型补给水工程的比较计算,指出目前存在的水泵出口阀门类型选择的误区,介绍正确选择与不同类型补给水工程路由相适配的水泵出口阀门类型的原则,给出气压式调压室边界条件的数值模型和不同工程的比较计算结果,为设计者提供了此类工程阀门选择的科学依据。

关键词 气压式调压室;数值模型;水锤;缓闭止回阀;逆止阀
中图分类号: TH134 **文献标识码**: A

Investigation on the selection type of pump outlet valve
——for the pipeline with pneumatic surge chamber

ZHENG Da-qiong[1], MA Dong[2], WANG Nian-shen[1]
(1. China Institute of Water Resources g Hydwopower Researcq, Beijing 100038, china;
2. North China Power Engineering Co, Ltd, Beijing 100011, China)

Abstract: It is indicated in this paper that there is the misunderstanding on selection the type of pump outlet valve when design the delivery pipeline with pneumatic surge chamber for precaution of water hammer. By comparison the computation results on severial delivery system in some projects, both the numerical model on the delivery pipeline with pneumatic surge chamber and the selection principle on the type of pump outlet valve are explained in this paper.

Key words: pneumatic surge chamber; numerical model; water hammer; cushion check valve; non-return valve

1 概述

水泵启停和供水系统内用户取水流量变化都会引起管道内压力波动,如果防护措施不当,会导致爆管或水泵破裂等严重事故。在输水距离较长或水泵扬程较高的补给水系统中,设计者常采用气压式调压室作为调压设施来防止这类水锤事故的发生。近年来的工程实践证明气压式调压室是一种行之有效的调压措施,对于那些距离超长(如 60.5km以上的内蒙古上都电厂)、地形复杂(河北西柏坡电厂)、扬程较高(云南滇东电厂)的输水系统在防止水锤方面具有良好的适用性。

2 工况条件

通常情况下以水泵为驱动设施的供水系统在水泵出口都会设置一个缓闭止回阀(用作截止、止回、调节等),在设计部门这种选择几乎已成为程式。缓闭止回阀的功能是防止断电停泵后系统内的水倒流造成浪费和水泵倒转速过高而损坏设备。应该说,对有些工程这样的设置方式是正确的,但是在对设置气压式调压室的供水工程的总结中发现[1],相当一部分工程中采用这样的设置方式非但起不到防护水锤的作用,反而成为诱发水锤的隐患,因为不适当设置的缓闭止回阀实际上是一个“水锤发生器”[2]。因而在采用气压式调压室作为水锤防护措施的供水系统中,水泵出口阀门类型的选择对于系

作者简介:郑大琼(1946-),女,广东中山人,教授级高级工程师,硕士,从事水工水力学研究。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

统的安全运行至关重要,不是单一地选择缓闭止回阀这类阀门就可以解决所有工程水锤防护问题的。通过分析有关设置气压式调压室的补给水工程水锤计算实例,注意到从水锤防护角度出发,缓闭止回阀并不是唯一正确的选择,必须根据工程的路由特点选择水泵出口阀门的类型。

随着工程经验的积累,笔者总结出正确选择带有气压式调压室的水泵供水系统出口阀门的规律。本文先介绍气压式调压室的数值模型和计算方法,然后结合带有气压式调压室的水泵供水系统工程实例,给出选择不同出口阀门的计算结果。

要说明的是一般情况下缓闭止回阀是设置在水泵出口的,逆止阀是设置在水泵进口前的,本文简化叙述为水泵“出口阀门”。

3 气压式调压室边界条件数值模型

气压式调压室有的文章简称气压罐,国内在泵站或火电厂输水系统中常有采用。气压式调压室的优缺点及应用原则参看文献〔3〕。

3.1 工作原理

气压式调压室是个顶端封口的封闭系统。运行时气压式调压室下部有水,上部是压缩空气。当输水系统的流量由于某种原因发生变化时,会引起管道内的压力也有相应的波动。若管道内压力升高,且大于气压式调压室内的压力,一部分水进入调压室,室内气体被压缩,压力升高。管道里的水在压力的作用下继续进入调压室,调压室内的空气进一步被压缩,压力进一步上升。当室内压力与管道内压力平衡时,停止进水,从而达到缓解水锤压力的效果。反之管道内压力下降,调压室内的水在室内压缩空气的作用下流向管道,能抑制管内负压,避免管道发生汽化及水柱分离。

气压式调压室内一定质量空气的压力与体积的关系由绝热过程的多变气体方程确定。

$$H_g V_g^m = C \tag{1}$$

式中 H_g——室内绝对压力,等于测管水头与当地大气压之和,MPa

V_g——调压室内气体体积,m^3

C——气体常数

m——绝热指数

m值由调压室内气体的热力学过程确定。对于体积较小的调压室或反应迅速的过渡过程,室内气体的膨胀或压缩可以近似地认为是等熵的,取 $m = 1.4$,对于体积较大、变化缓慢的过渡过程,可以认为是等温过程,取 $m = 1$。建议一般情况下采用 $m = 1.2$。

3.2 边界条件

气压式调压室可以就近设置在主输水管附近,也可以根据工程的具体情况设置在离主管有一定距离的地方,如果连接管距离较长则必需将连接管内水的运动也考虑进去。本文介绍带连接管的气压式调压室(图 1)数值模型。

在连接管与主管道连接处的水击方程为

$$C^+ \quad h_{pi,n+1} = C_{pi} - B_i q_{pi,n+1}$$

$$C^- \quad h_{pi+1,1} = C_{mi+1} + B_{i+1} q_{pi+1,1} \tag{2}$$

若忽略岔管分岔的水头损失,则有

$$h_{pi,n+1} = h_{pi+1,1} = h_p \tag{3}$$

岔管处的连续方程

$$q_{pi,n+1} = q_{pi+1,1} + q_{sp} \tag{4}$$

由式(2)、(3)和(4)方程联列可解得

$$h_p = \frac{B_{i+1} C_{pi} + B_1 C_{mi+1}}{B_i + B_{i+1}} - \frac{B_i B_{i+1}}{B_i + B_{i+1}} q_{sp} = \alpha + \beta q_{sp} \tag{5}$$

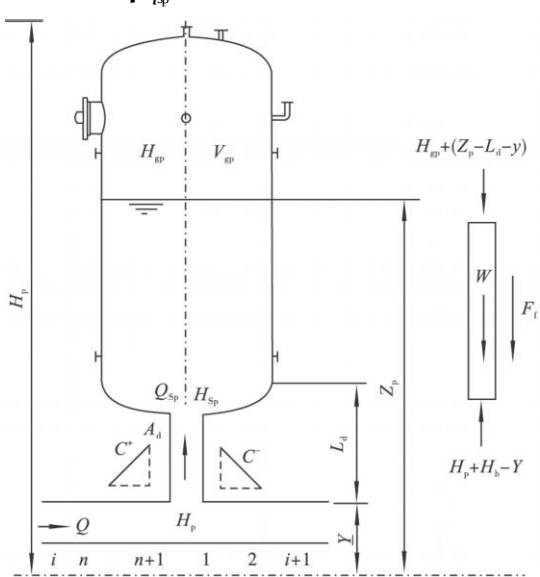

图 1 带连接管气压式调压室

参看图 1,气压室内的无量纲绝对压力为

$$h_{gp} = h_p + h_b - z_p - h_f \tag{6}$$

不考虑弹性的影响,可列出连接管分离体水的运动方程,整理得

$$Q_{sp} = Q_s + \frac{gA_d}{L_d}\Delta t(H_p + H_b - H_{gp} - Z_p - KQ_{sp}|Q_{sp}|) \tag{7}$$

气压式调压室内水位波动方程的差分形式为

$$Z_p - Z = \frac{1}{2}(Q_{sp} + Q_s)\frac{\Delta t}{A_s} \tag{8}$$

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式 (7)、(8)无量纲化为

$$q_{sp} = q_s + \frac{gA_d H_R}{L_d Q_R}\Delta t\left\{ h_p + h_b - h_{gp} - z_p - K\frac{Q_R^2}{H_R} q_{sp} | q_{sp} |\right\} \tag{9}$$

$$z_p - z = \frac{1}{2}(q_{sp} + q_s)\frac{Q_R \Delta t}{H_R A_s} = \frac{1}{2}\frac{\Delta t}{T_s}(q_{sp} + q) \tag{10}$$

利用计算时段内气压式调压室气体容积与水位变化的关系可以推导得

$$H_{gp}[V_{g0} - A_s(Z_p - Z_0)]^m = h_{g0} V_{g0}^m$$

经变换并无量纲化后为

$$h_{gp}\left[1 - \frac{A_s H_R}{V_{g0}}(z_p - z + z - z_0)\right]^m = h_{g0} \tag{11}$$

进行整理并考虑式 (5)可得 h_{gp}的表达式

$$h_{gp} = \alpha + h_b - z - \left(\frac{\Delta t}{2T_g} - \frac{T_w}{\Delta t}\right) q_s + \left(\beta - \frac{T_w}{\Delta t} - \frac{\Delta t}{2T_s}\right) q_{sp} - K_0 q_{sp} | q_{sp} | \tag{12}$$

将 h_{gp}的表达式及式 (10)代入式 (11)即可得到时段末进入调压室流量 q_{sp}的关系式

$$\left[\alpha + h_b - z + \left(\frac{T_w}{\Delta t} - \frac{\Delta t}{2T_s}\right) q_s + \left(\beta - \frac{T_w}{\Delta t} - \frac{\Delta t}{2T_s}\right) q_{sp} - K_0 q_{sp} | q_{sp} |\right] \times \left\{1 - \frac{A_s H_R}{V_{g0}}\left[z - z_0 + \frac{\Delta t}{2T_s}(q_{sp} + q_s)\right]\right\}^m = h_{g0} \tag{13}$$

式 (13)为关于 q_{sp}的非线性一元方程,可用牛顿-拉卜生法求解。式中 z和 q_s是计算时段初的值,V_{g0}、z_0和 h_{g0}是过渡过程前原始值,m在 1.0～1.4之间。时段末的调压室水位 z_p和室内空气绝对压强 h_{gp}等重要参数都可由相应的方程求得。

4　工程实例

在气压式调压室的供水工程的水锤计算中,通过数值模拟确定气压式调压室的设置位置、气压罐的几何尺寸和最大承压等参数,并经反复比较,可以确定水泵出口阀门的类型。如果采用缓闭止回阀,则可以通过比较计算确定阀门快关或慢关的速度。

有些工程如果采用缓闭止回阀,阀门关闭速度的调整非常困难。因为这些工程扬程高,高扬程水泵通常都是高转速的,其转动惯量都比较小,而且随着科技的发展和进步,水泵 (包括电机,下同)的转动惯量越来越小。如某工程水泵扬程 120m,供水流量 1 728t/h,选用的水泵和电机的转动惯量分别只有 6kg·m^{2}和 36kg·m^2。这类水泵机组的转动惯量非常小,一旦断电停泵,水泵在瞬间就失去驱动力。由于水泵的转动惯量很小,在附近设置的气压式调压室的高压作用下,在极短的时间内水泵将发生倒转,并且很快就达到并超过允许的倒转速。所以应在很短的时间内关闭 (至少是关小)阀门。快关要求 1s(甚至 0.5s)内关到 5°。但是要求这样快的关闭速度,(缓闭止回阀)厂家是无法做到的。建议不要在这一类工程中选用缓闭止回阀,而应安装速闭止回阀,以保护水泵不超过允许的反转速。以“低水头长距离”和“高扬程”两个典型的工程为例进行分析。

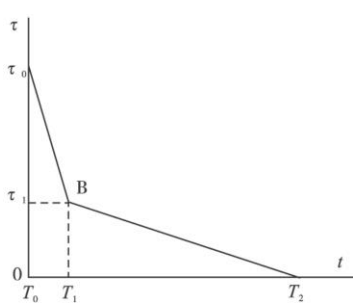

图 2　缓闭止回阀关闭方式

表 1　选择阀门比较计算结果

阀门种类		缓闭止回阀							逆止阀
		A	B	C	D	E	F	G	
阀门关闭参数	K°	15	5	5	3	3	3	2	
	T_1(s)	5	5	3	5	3	2	2	
	T_2(s)	20	20	20	20	20	20	20	
水锤压力上升率 β(%)		15.32	15.32	15.32	15.32	15.73	29.44	51.26	15.26
水泵最低转速 n(r/min)		-1 359.21	-1 311.86	-884.44	-1 297.23	-641.40	-314.71	-18.64	43.26

4.1　WD工程

WD工程供水系统进出口高程分别为 65.70m

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

和 85.00m，供水流量 3 100t/h，管线长度为 24.575km，两台水泵供水，1根 DN900的钢管输水。这个工程的特点是整个输水系统高差较小，管线距离很长。运用“PSW - 2有压供水系统水力计算分析程序”对此工程进行计算分析，表 1给出了水泵出口缓闭止回阀的不同关闭方式的计算结果，图 2是缓闭止回阀关闭方式的示意图。计算结果表明表 1中缓闭止回阀 A到 D各关阀方式都是可行的，这说明此工程可以选择缓闭止回阀，但是相比之下逆止阀似乎是更好的选择。

4.2 DR工程

DR 工程供水系统进出口高程分别为 1 191.51m和 1 303.00m，供水流量 1 320t/h，管线长度为 5.930km，两台水泵供水，1根 DN600的钢管输水。这个工程的特点是系统高差大，扬程较高，距离较长。由于水泵和电机的转动惯量很小，只有 2.779kg·m^{2}和 7.321kg·m^2，在断电停泵后很短的时间内水泵就发生倒转并使倒转速超过 - 100%，在这种情况下控制水泵转速上升率成为主要矛盾。反复改变关阀方式进行计算，发现即使在 1s内就将阀门关到 2°，水泵的倒转速也要达到 - 2 029.13r/min，不能满足要求。而且对于缓闭止回阀来讲，要关得这么快是无法实现的。所以在这样的工程中不能采用缓闭止回阀，只能采用逆止阀。采用逆止阀后水泵最低转速 23.24r/min，水锤压力上升率为 14.17%。

对其他一些工程也曾作过类似的比较计算，得到同样的结果。其主要原因是断电停泵后，水泵在瞬间即失去驱动力，水泵出口压力迅速下降，在压缩空气的作用下，气压式调压室内的水马上排出补充。水泵内的流量迅速由正向流变成反向流并且反向流量逐渐加大，水泵的转速也由正转减小并变成倒转。这个过程时间的长短与水泵转动惯量的大小有关，转动惯量大，过程时间长。转动惯量小，倒转很快发生。如不控制，则倒转速越来越大，所以需要及时关闭水泵出口阀门。但关闭时间需要控制。关慢了水泵倒转速上升太大，损坏设备。关快了会引发水锤。最好是在刚发生倒流就关闭阀门，这样可以使水锤压力和水泵倒转速都控制得比较小。逆止阀可以满足这个要求，一旦出口压力大于进口压力，逆止阀马上关闭，不会发生倒流和倒转，水锤压力和水泵倒转速都很小。所以，在设置气压式调压室的情况下，应根据工程的路由特点慎重选择水泵出口阀门的类型。

5 结语

(1) 在设置气压式调压室的供水系统中，水泵出口阀门的类型要根据具体工程计算确定。

(2) 在输水距离较长而系统高差较小的补给水工程中，可以采用缓闭止回阀，也可以采用逆止阀。在系统高差较大，扬程较高的工程中，推荐采用逆止阀，慎用缓闭止回阀，最好不用。

(3) 如果在设置气压式调压室的供水系统中采用缓闭止回阀，其关闭程式应由计算确定，以免水泵倒转速过高损坏设备或发生非常水锤。

参 考 文 献

[1] 郑大琼，王念慎，等."非常水锤"的发生条件及预防措施[J]. 中国电力，2001，11.

[2] 金锥，等. 停泵水锤及其防护[M]. 北京：中国建筑工业出版社，1993.

[3] 王念慎，郑大琼. PSW - 2有压供水系统水力计算分析程序使用说明[Z]. 中国水利水电科学研究院，2004.

(收稿日期：2008.09.22)

书讯

《实用阀门设计手册（第 2版）》——本书是 2002版《实用阀门设计手册》的修订版。在技术内容上更加充实和实用。本书共 10章，主要介绍了阀门的分类、名词术语、型号编制、压力损失及主要参数、结构要素、配合精度和表面粗糙度标准、材料及选用、设计计算和设计数据、零部件及选用原则、驱动装置、检验和试验方法等。书中图、表、公式、数据资料齐全，包括我国现行标准规范、国际通用标准规范以及相关数据和设计方法，查找方便。本书可供从事阀门设计、安装调试、使用与维修工作的技术人员参考，也可供相关专业院校师生参考。本书由陆培文主编，机械工业出版社出版。书号 ISBN 978 - 7 - 111 - 21599 - 8，定价 188.00元/册。

每册加收书价 10%的邮寄包装费，需要者，请与沈阳经济技术开发区开发大路 15号沈阳阀门研究所科技开发信息中心的尹玉杰联系，邮编：110142，电话：024 - 25653780。

E - mail: sfskkxz@chinavalveinfo.net http://www.chinavalveinfo.net

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net