

[文章编号] 1002 - 8528(2000)05 - 0057 - 05

气压罐定压装置计算方法和设计原则

丛山日, 许文华, 孟广宇
(中国建筑技术开发总公司, 北京 100013)

[摘 要] 在分析气压罐工作原理以及密闭在贮罐内气体状态变化过程的基础上, 推导出罐体选择计算公式, 并对容积调节特性系数的概念进行了定量分析, 提出了设计原则、计算步骤和具体的技术措施。

[关键词] 气压罐; 定压; 调节水量; 特性系数

[中图分类号] TU831.3+6 [文献标识码] A

Calculation and Design Principle for Pressure Stabilizing Device of Pneumatic Tank

CONG Shan-ri, XU Wen-hua, MENG Guang-yu
(China Building Technology Development Corporation, Beijing 100013, China)

[Abstract] Based on the description of the principle of pneumatic tank and the analysis of transformation process of the air packaged in the tank, the calculation formula of selecting tanks is deduced. And the concept of the characteristic coefficient and its calculation method are analyzed. In the end, the design principle, calculation steps and some detail measures are presented in the paper.

[Keywords] pneumatic tank; stabilizing pressure; regulating water flow; characteristic coefficient

1 引 言

气压罐补水定压装置是利用密封贮罐内气体(空气或氮气等)的可压缩性, 贮存、调节空调水系统水容量, 并且补水泵在压力控制器的控制下自动投入和退出运行, 将罐内气体压力和系统定压点压力控制在规定的压力范围内。

但目前, 由于缺少统一的计算方法和技术依据, 设计者在选用气压罐定压设备时随意性大。实际使用中存在不少问题, 有的工程罐体调节水量过小, 补水泵启停频繁, 不但达不到节能的目的, 反而故障率升高; 有的工程罐体选择过大, 成本增加, 也给安装增加困难。针对当前设计中存在的缺陷, 笔者根据气压罐工作原理分析了罐内气体压缩前后状态变化过程, 推导出罐体选择计算公式, 提出了具体的设计原则、计算步骤和方法, 以及设计中应注意的问题。

2 设备类型和工作原理简介

根据罐体内是否设有气囊可分为无囊式和有囊式两种。

图 1、图 2 分别为无囊式和有囊式气压罐工作原理图, 其中密封贮罐内定量气体被充水压缩而形成压力。罐内压力下限值设定为 P_1 , 压力上限值为 P_2 , 并且 P_2 高于 P_1 一定压力值 P , 即 $P = P_2 - P_1$ 。如果气压罐安装高度与空调水系统定压点高度相同, 那么 P_1 就是定压点压力, 该压力值可根据空调水系统的静水压线通过压力控制器现场整定; P_2 就是补水泵停泵压力; P 就是允许压力波动值。

当系统水膨胀后, 定压点实际压力高于气压罐压力时, 水从系统倒流入罐内, 其中气体压缩、压力升高。当压力超过上限值 P_2 一定数值(通常 0.02 ~ 0.04MPa)时, 压力控制器控制泄水电磁阀或安全阀自动泄水, 实现过压保护。

二者的区别是有囊式气压罐(气囊的设置方式

[收稿日期] 2000 - 03 - 17

详见图 3)在系统运行时一般囊内充水、囊外与罐体内壁之间充有一定压力的气体(空气或氮气等)。气囊使系统水与囊外气体隔绝,实现封闭运行。而且同无囊式气压罐相比,省掉了补气罐、水位传感器、排气电磁阀及其止回阀等补气排气部件。

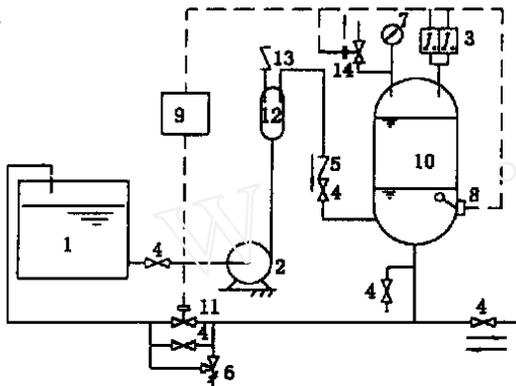


图 1 无囊式气压装置工作原理图

- 1—软化水箱; 2—补水泵; 3—压力控制器; 4—闸阀; 5—止回阀;
- 6—安全阀; 7—压力表; 8—水位传感器; 9—电控箱; 10—气压罐;
- 11—电磁阀; 12—补气罐; 13—止回阀(吸气); 14—电磁阀(排气)

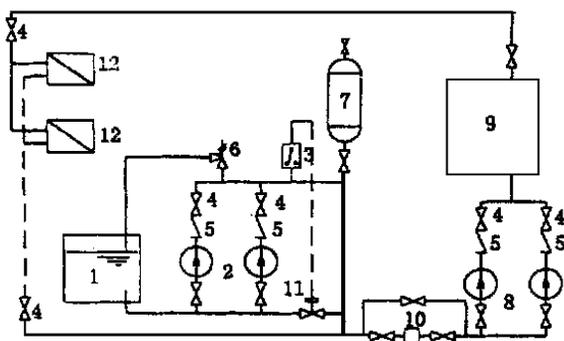


图 2 有囊式气压装置工作原理图

- 1—软化水箱; 2—补水泵; 3—压力控制器; 4—闸阀; 5—止回阀;
- 6—安全阀; 7—有囊式气压罐; 8—循环泵; 9—冷热源; 10—过滤器;
- 11—电磁阀; 12—空调器

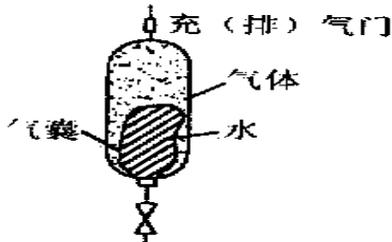


图 3 有囊式气压罐构造示意图

3 气压罐选择计算公式推导及有关参数的讨论

3.1 公式推导

为便于分析,根据气压罐内气体的性质和压缩、膨胀特点,可以做出以下两个假设:

(1) 气压罐内气体为空气、氮气等常见的双原子和单原子气体,工作压力一般不超过 2.0MPa,且工作温度处于常温状态,可以看作是理想气体,其状态变化过程满足理想气体状态方程^[4]:

$$PV = n R_0 T \quad (1)$$

式中, n 为气体的摩尔数; P 为气体的绝对压力; V 为 n Kmol 气体的容积; R_0 为通用气体常数; T 为气体的热力学温度。

(2) 罐内气体的压缩、膨胀过程视为闭口系统等温过程,则式(1)中等号右侧的 n 、 R_0 、 T 均为常数,于是,式(1)又可简写成:

$$PV = \text{常数} \quad (2)$$

设气压罐总容积为 V_z ,工作时初始状态如图 4a, (P_1, V_1) 、 (P_1, V_{1s}) 分别为气体及水的压力、容积(其中 V_{1s} 又称预充水量);最终状态如图 4b, (P_2, V_2) 、 (P_2, V_{2s}) 分别为气体及水的压力、容积。

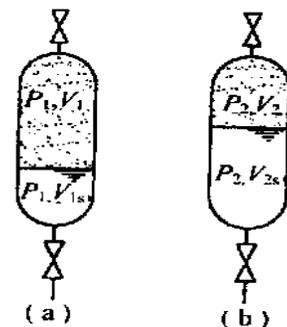


图 4 气压罐状态变化示意图

由图 4,可以得出下列关系式:

罐体总容积:

$$V_z = V_1 + V_{1s} = V_2 + V_{2s} \quad (3)$$

终状态与初状态的压力波动值:

$$P = P_2 - P_1 \quad (4)$$

罐体的调节水量:

$$V_t = V_{2s} - V_{1s} = V_1 - V_2 \quad (5)$$

由式(2)可得: $P_1 V_1 = P_2 V_2$,代入式(3),则:

$$P_1 (V_z - V_{1s}) = P_2 (V_z - V_{2s})$$

整理后,得:

$$\left(1 - \frac{P_1}{P_2}\right) V_z = V_{2s} - \frac{P_1}{P_2} V_{1s}$$

将(5)式代入上式整理后,可得:

$$V_z = \frac{V_{1s} + V_t - \frac{P_1}{P_2} V_{1s}}{1 - \frac{P_1}{P_2}} = V_{1s} + \frac{V_t}{1 - \frac{P_1}{P_2}} \quad (6)$$

令 $\beta = 1 - \frac{P_1}{P_2}$ 并称之为容积调节特性系数(其含义见下文),则式(6)可以简写成:

$$V_z = V_{1s} + \frac{V_t}{\beta} \quad (7)$$

由式(7)可以看出,气压罐总容积 V_z 仅与罐体的调节容积即系统所需的调节水量 V_t 、容积调节特性系数 β 和罐体内预充水量 V_{1s} 三个因素有关,且 V_z 随 V_t 增大而增大,随 β 增大而减小。可以看出,在进行罐体选型设计时应先确定 V_t 、 β 和 V_{1s} 。

3.2 的含义及其影响因素

由 $P_1 V_1 = P_2 V_2$, 可得 $\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$, 代入 定义式有:

$$\beta = 1 - \frac{P_1}{P_2} = 1 - \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = \frac{V_{2s} - V_{1s}}{V_1} = \frac{V_t}{V_1} \quad (8)$$

由式(8)可以看出, β 表示罐体的调节水量 V_t 与罐内气体在初始状态时容积 V_1 之比。可以这样理解: β 值越大则说明同样容积的密闭气体,可提供调节水量的能力越大;或者,空调水系统需要相同的调节水量,则罐体需要密闭的气体容积和罐体的总容积越小;反之亦然。显然, β 表达了气压罐调节水量的能力,反映了处于一定状态的密闭气体的调节特性,因此,称之为容积调节特性系数。

根据 定义式还可以得到:

$$\beta = 1 - \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_2 - P_1}{P_2} = \frac{P}{P_1 + P} \quad (9)$$

式(9)表明,容积调节特性系数 β 仅与罐体的压力下限值 P_1 、允许的压力波动值 P 有关,而且随着 P_1 增大而减小,随 P 增大而增大。这一结论,对设计中如何确定初始压力值 P_1 、压力波动值 P 以及确定气压罐的安装位置有指导意义。为了直观地了解 β 的变化规律及 P_1 、 P 两个变量对 β 的影响程度,这里,分别对 P_1 、 P 依次取值(P_1 依次取 0.15、0.2、0.25、...、0.15 + 0.05n、...

1.0MPa; P 依次取 0.03、0.05、0.07、0.09、0.1、0.15、0.2 MPa)代入式(9),并将计算结果绘制成线算图,详见图 5。可以看出, β 取值减小或者 P_1 取值增大都会引起 β 减小,结果罐体总容积增大、成本增加。

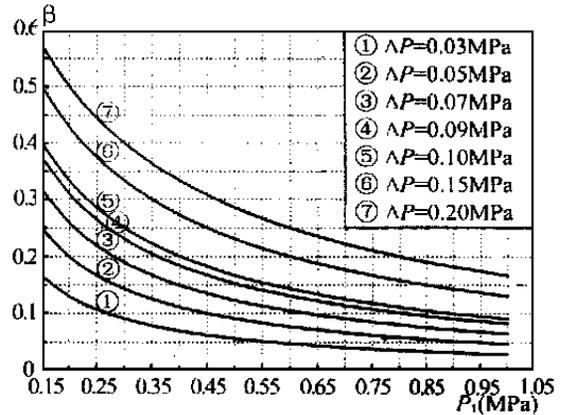


图 5 容积调节特性系数线算图

为此,笔者提出两点建议:

(1) 如果空调水系统及其设备承压许可, P 取值宜大一些,建议取值 0.05 ~ 0.1MPa。

(2) 对冷热站布置在建筑物底部的高层建筑,如果气压罐安装在底部机房内,因空调水系统定压点压力较高, P_1 数值过大,则容积调节特性系数 β 会过小,因此,气压罐有必要布置在较高楼层,这时 P_1 值变成定压点压力减去 H_j (H_j 为气压罐与系统定压点的高度差即水静压值),即通过抬高气压罐的安装位置,减小实际的 P_1 值来提高其容积调节能力。

值得注意的是,上述公式中 P_1 、 P_2 、 P 等压力均为绝对压力,在设计中应将工作压力加上当地大气压力后代入公式计算。

4 设计步骤和应用举例

根据前面的公式推导及容积调节特性系数的讨论,提出具体设计步骤如下:

4.1 计算空调水系统水容量,确定罐体的调节水量 V_t 及补水泵流量

从图 1、图 2 可以看出,空调水系统小时补水量等于空调系统的小时泄漏量。文献[3]推荐:空调水系统的小时泄漏量,一般为系统水容量的 1%,系统水容量 V_c 可按表 1 估算(室外管线较长时取较大值);补水泵流量应不小于系统水容量的 4% ~ 5%,

补水箱或气压罐调节水量应不小于 3min 补水泵流量^[3]。

表 1 空调水系统的单位水容量 V_c (L/m^2 建筑面积)^[3]

空调方式		全空气系统	水 - 空气系统
供冷时		0.40 ~ 0.55	0.70 ~ 1.30
供暖时	热水锅炉	1.25 ~ 2.00	1.20 ~ 1.90
	热交换器	0.40 ~ 0.55	0.70 ~ 1.30

笔者认为,考虑到系统的初次充水时间和紧急补水的可靠性,补水泵的小时流量宜取系统水容量的 6% ~ 10% (下面公式按 8% 取值),且宜设备用补水泵;罐体的调节水量按 5min 补水泵流量考虑为好。则有下列关系式:

$$V_c = 10^{-3} v_c F \quad (10)$$

$$G_b = 8\% V_c \quad (11)$$

$$V_t = (5/60) G_b \quad (12)$$

整理后有:

$$V_t = 6.7 \times 10^{-6} v_c F \quad (13)$$

式中, V_c 为空调水系统水容量, (m^3); v_c 为空调水系统的单位水容量, (L/m^2); F 为建筑面积, (m^2); G_b 为补水泵的流量, (m^3/h); V_t 为罐体的调节容积, (m^3)。

所以,根据空调方式及表 1 可以查得 v_c , 并同建筑面积 F 一起代入式 (13), 可以得到调节水量 V_t 。

4.2 确定气压罐压力参数、计算容积调节特性系数

空调水系统的补水点宜设在循环水泵入口处, 且补水泵的扬程一般比补水点压力高 3 ~ 5 mH_2O 。对于气压罐安装高度与系统定压点高度相同的工程, 这里推荐气压罐工作压力值的确定方法^[3]。

P_1 为补水泵启动压力, 大于系统最高点 0.5 mH_2O 。

P_2 为补水泵停泵压力及电磁阀关闭压力, 一般取:

$$P_2 = P_1 + (5 \sim 10) mH_2O, \text{ 即 } P = 5 \sim 10 mH_2O$$

P_3 为水膨胀时, 电磁阀开启压力, 一般取:

$$P_3 = P_2 + (2 \sim 4) mH_2O$$

P_4 为安全阀开启压力, 一般取:

$$P_4 = P_3 + (1 \sim 2) mH_2O$$

同时, 要求气压罐最高工作压力 P_4 不得超过

系统内设备的允许压力。

综上所述, 工作压力 P_1 换算成绝对压力 P_1 , 然后, 将 P_1 、 P 代入式 (9) 或利用线算图 5 确定值。

特别指出, 如果该装置用于高层建筑空调系统时, 在布置设备时, 应适当抬高罐体安装高度, 以提高容积调节特性系数值。这时, P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 和补水泵扬程 (如果补水泵和气压罐一起抬高安装) 均减去 H_j , (H_j 表示气压罐与定压点的高差)。

4.3 确定预充水量 V_{1s}

对开式气压罐系统, 设计中应考虑当罐体压力下降到启泵压力 P_1 时, 罐内仍应存有一定水量 V_{1s} , 起到水封作用, 以避免罐内气体进入空调水系统。笔者根据近年的设计、施工经验, 建议开式气压罐 V_{1s} 不应小于调节水量 V_t 的 20% ~ 30%; 对于闭式气压罐虽然不存在气体倒灌的问题, 但考虑到调试的方便, 罐内亦应留有一定量存水, 且 V_{1s} 不小于 V_t 的 15% ~ 20% 为宜。

4.4 计算罐体总容积

将上面 V_t 、 V_{1s} 的计算结果代入式 (7), 即可算得罐体总容积 V_z 。

4.5 应用举例

已知某娱乐广场建筑面积 $F = 34000 m^2$, 主体呈穹壳造型, 地上五层、地下一层。集中空调, 其中地下一层、地面 1 层、2 层为全空气系统; 3 ~ 5 层为水、空气系统; 空调系统最高点标高 28.3m。冷热站设在地下 1 层, 地面标高 - 6.80m, 冷源为离心压缩式冷水机组, 热源为水 - 水板式热交换器。定压点在循环水泵入口处, 且其标高为 - 5.0m。试选择膨胀定压装置及补水泵。

[解] 由于该建筑为穹壳造型, 所以无法在其屋顶最高处设开式膨胀水箱, 同时考虑有囊式气压罐具有故障率低和隔绝空气效果好等特点, 故本工程选择有囊式气压罐定压装置。该空调系统最高点标高仅为 28.3m, 可以将气压罐、补水泵一起设在地下一层冷热站内, 使之与系统定压点处在同一高度。

(1) 计算 V_t 、 V_{1s} 考虑该建筑周边裙房体型较大、管路较长, 由表 1 查得 $v_c = 1.2 L/m^2$; 建筑面积 $F = 34000 m^2$, 代入式 (13), 得到罐体的调节水量:

$$V_t = 6.7 \times 10^{-6} v_c F = 0.273 m^3$$

因选择有囊式气压罐, 可以算出:

$$V_{1s} = 20\%; V_t = 0.055 m^3$$

(2) 确定各工作压力及 值 根据 4.2 规定,气压罐各压力值确定如下:

补水泵启动工作压力为:

$$P_1 = [28.3 - (-5.0)] + (0.5 \sim 1.0) = 34 \text{ mH}_2\text{O}$$

其绝对压力

$$P_1 = P_1 + B = 34 + 10 = 44 \text{ mH}_2\text{O}$$

压力波动值取: $P = 5 \text{ mH}_2\text{O}$

补水泵停泵及电磁阀关闭工作压力为:

$$P_2 = P_1 + P = 34 + 5 = 39 \text{ mH}_2\text{O}$$

水膨胀时电磁阀开启工作压力为:

$$P_3 = P_2 + 3 = 39 + 3 = 42 \text{ mH}_2\text{O}$$

安全阀开启工作压力为:

$$P_4 = P_3 + 2 = 44 \text{ mH}_2\text{O}$$

其值小于空调水系统及设备承压能力,故安全。

将 P_1 、 P 代入式(9),则,

$$= P / (P_1 + P) = 5 / [44 + 5] = 0.102$$

(3) 计算罐体总容积及补水泵流量、扬程 将上述 V_{1s} 、 V_t 和 的计算结果代入式(7),得:

$$V_z = V_{1s} + V_t / = 0.055 + 0.273 / 0.102 \\ = 2.73 \text{ m}^3$$

根据 4.1、4.2 的规定,补水泵的小时流量取系统水容量的 8%,补水泵的扬程比补水点压力高 4mH₂O,得:

补水泵的流量:

$$G_b = 8\% \times (10^{-3} \times 1.2 \times 34000) = 3.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

补水泵的扬程:

$$H_b = P_1 + 4 = 34 + 4 = 38 \text{ mH}_2\text{O}$$

本设计选用立式管道泵二台,一用一备。

该设备已于 1997 年底安装完毕,并严格按设计要求调试,现已运行两年。运行期间,水泵启动频率 1.5~3 次/h,水泵每次运转时间为 4~7min。除 1999 年夏季止回阀出现过一次故障外,其余装置运行正常,节能效果理想,与设计结果吻合。

5 结 论

本文提出的气压罐选择计算方法及其容积调节特性系数,是根据理想气体状态方程式进行推导的。该方法的特点是:首先根据空调系统水容量和建筑规模,计算罐体的调节容积 V_t 和预充水量 V_{1s} ;然后,根据空调水系统定压点绝对压力、罐体安装高度和允许的压力波动值,确定容积调节特性系数;最后确定罐体容积和补水泵流量、扬程、台数。这种方法具有计算简便、设计思路比较清晰、易于掌握等特点,可以称之为特性系数法。

[参考文献]

- [1] 陆耀庆. 供暖通风设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1987.
- [2] 陆耀庆. 实用供暖空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1993.
- [3] 北京市建筑设计研究院. 建筑设备专业设计技术措施[M]. 北京,中国建筑工业出版社, 1998.
- [4] 同济大学,等. 工程热力学[M]. 北京,中国建筑工业出版社, 1985.
- [5] 建设部建筑设计院. 民用建筑暖通空调设计技术措施[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1996.

(上接第 62 页)

出征求意见稿并完成意见征求,2001 年 9 月编制完成。由中国建筑科学研究院会同有关单位共同编制的《混凝土结构工程质量验收规范》和《建筑装修工程质量验收规范》、《建筑电梯工程质量验收规范》将于 2000 年 10 月完成征求意见稿。

建筑结构和基桩检测规范开始制订

为贯彻落实《建设工程质量管理条例》、完善检

测手段,建设部以建标标[2000]53 号文下达了行业标准《建筑工程基桩检测技术规范》,以建标标[2000]59 号文下达了国家标准《建筑结构检测技术规范》的编制计划。编制工作由中国建筑科学研究院会同有关单位共同进行,目前正进入开题编制阶段。

(丁玉琴 供稿)