

文章编号: 1007-4929(2006)03-0010-03

# 灌溉工程中空气进排气阀的选型计算

严海军,刘竹青,吕娟妃

(中国农业大学水利与土木工程学院,北京 100083)

**摘要:**详细分析了灌溉工程中正确安装空气进排气阀的重要性,并根据进排气阀的结构特点,提出了适合于灌溉工程的进排气阀类型和安装方法。此外,给出了空气阀进排气孔口尺寸的计算公式和步骤,并结合应用实例进行分析,旨在帮助灌溉工程设计时正确选择进排气阀。

**关键词:**进排气阀;灌溉工程;有压管道系统

**中图分类号:**S274.2 **文献标识码:**A

## Type Selection Calculation of Air Inflow and Release Valves in Irrigation Systems

YAN Hai-jun, LIU Zhu-qing, Lü Juan-fei

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The importance of correct installation of air valves in irrigation systems was analyzed in detail in this paper. According to the structure characteristic of the air inflow and release valves, specialized types and correct installation ways of air valves suitable to irrigation system were recommended. Also, combining with application example, a series of formulas and procedure for calculating the orifice size were provided in detail, which will be helpful to select and install the air valves properly.

**Key words:** air inflow and release valves; irrigation systems; pressurized pipe systems

近几年,喷灌、微灌等先进的灌溉技术在我国农业和园林灌溉中得到了广泛的应用。灌溉工程的科学设计、正确的施工安装和规范的运行管理是确保工程安全运行、发挥作用的关键所在。但有些工程在运行一段时间后,因各种原因不能正常运转,甚至出现瘫痪现象。原因之一是空气进排气阀选用不合适,或采用不正确的安装方式,导致灌溉系统出现爆管、水锤、灌水器堵塞等严重后果<sup>[1~3]</sup>。为此,本文将探讨应用于灌溉工程的空气进排气阀的结构类型、安装方式及选型设计等问题。

## 1 灌溉系统不安装空气进排气阀的危害

灌溉系统运行时,管道或附属设施中可能会出现积聚空气或缺少空气的现象。灌溉系统中存在空气将会产生的危害如下。

- (1) 增加管道中的水头损失,产生水阻现象,严重时将阻断水流畅通。
- (2) 引发对管道、管件及其他附件的水锤。
- (3) 引起自动流量计或阀门的读数误差,进而可能产生实

际灌水量偏离设计灌水量,最终影响作物产量。

(4) 对水泵、控制安全设备、喷头等运动部件产生危害。

(5) 引发水泵的汽蚀现象。

灌溉系统运行时,管道内缺少空气,将会引发的后果如下。

- (1) 泥土或其他杂质吸入滴头,造成滴头堵塞。
- (2) 肥料等化学制剂被吸入灌溉系统。
- (3) 因负压使管道或其他装置被破坏,甚至增加涌浪或水击现象。

## 2 空气进排气阀的结构类型与安装方式

### 2.1 空气进排气阀的结构类型

根据空气阀的额定工作压力和进排气孔口尺寸的大小,将空气阀分为低压空气阀、高压空气阀和复合式空气阀。根据空气阀的工作特性,又可分为进气阀、排气阀和进排气阀。国内常见的空气阀有浮球式、杠杆式和气动式3种,灌溉系统中主要采用浮球式空气阀。浮球式空气阀主要包括浮球、阀体和阀

收稿日期:2005-11-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50509024);中国农业大学科研启动基金项目(2005031)。

作者简介:严海军(1974-),男,副教授,主要从事灌溉装备技术及应用的研究。

盖 3 部分,浮球又可分为球形、圆柱(筒)形和楔形<sup>[4]</sup>。

低压空气阀的孔口尺寸较大,进排气效率高,既可在较低的工作压力时,排泄大量空气;当管道内出现真空时,又可吸入大量空气,其结构如图 1 所示。高压空气阀的孔口尺寸较小,进排气效率相对较低,但在不超过设计工作压力下都可以正常工作,其结构如图 2 所示。复合式空气阀是将低压和高压空气阀一体化,同时具有两者的工作特性,其结构如图 3 所示。

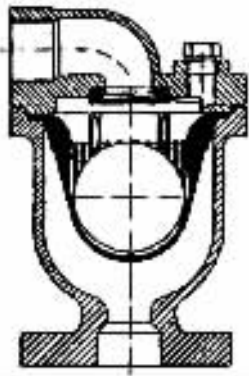


图 1 低压空气阀结构

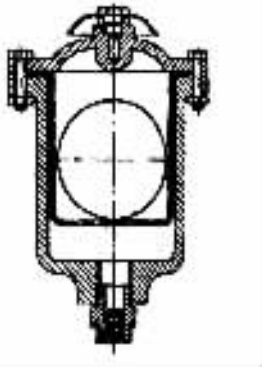


图 2 高压空气阀结构

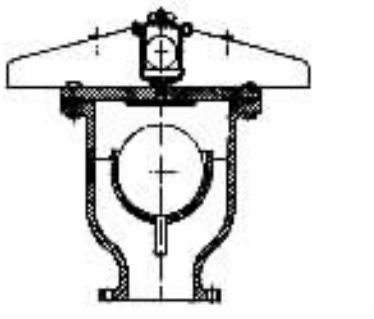


图 3 复合式空气阀结构

空气阀与管道连接方式有螺纹和法兰 2 种方式。通常,高压进排气阀的公称直径是 1/2"~2";低压排气阀的公称直径是 1"~8"。

## 2.2 空气进排气阀的安装方式

在灌溉系统中,应在以下场合安装合适的空气进排气阀。

(1)水泵启动前,大量空气聚集在水泵吸水管和泵体内,而且水泵叶轮转动过程中游离出不少空气。因此,在水泵出口或止回阀前、后应安装空气阀。

(2)在管道铺设最高处或某装置的最高点,尤其在水流流速低于带动空气运动的极限流速条件下,必须安装空气阀。

(3)在长距离输水系统中,当重力势能不能将空气运输至管道最高处的空气阀,或当水流流速过低,不能将空气运输至最近的空气阀时,也应在管道中间的适当位置安装空气阀。

(4)应在主干管的控制阀门前安装空气阀,将有利于关闭主干管或支管控制阀门时,及时排泄充水过程中积聚于阀门前的空气;此外,当开启阀门时,也可避免阀盘因吸入空气产生汽化。

(5)应在灌溉系统的水表或自动计量阀之前安装空气阀。水流中掺杂中大股空气,将会扰乱水表或自动计量阀的正常工作,造成读数刻度值偏大,由于降低实际灌溉水量,引起作物减产。

(6)应在过滤器的进口、出口及最高位置安装合适的空气阀,可以有效地排泄过滤器内部的空气,提高过滤和反冲洗效果。

(7)必须在滴灌轮灌小区控制阀门进口或在滴灌的支管进口处安装空气阀,可避免因系统停止运行,在滴管毛管内出现水柱分离或滴头出口位置出现负压,有效提高滴头的抗堵塞性能。

(8)在灌溉系统内出现压力或流量急剧变化的场合,也应安装空气阀。

## 3 空气进排气阀的选型与计算

### 3.1 空气进排气阀的选型

目前,市场上的进排气阀种类很多,良莠并存,一旦选错,可能给灌溉工程及相关单位带来严重的后果。设计和管理人员在选用空气阀时应尽量避免出现以下错误:一是灌溉工程,尤其是微灌、低压管灌等输水管道,不同于城镇供水、供暖、输送石油等其他流体输送管网,前者工作压力较低,选用空气阀时常将工业或生活用的空气阀用于农业或园林灌溉;二是因不熟悉空气阀的工作原理,进气阀、排气阀或进排气阀时混淆应用;三是因未进行孔口尺寸计算,安装规格尺寸不正确的进排气阀。

### 3.2 空气进排气阀孔口尺寸的计算

低压空气阀主要用于管道充水和排水的场合,一般在管道的最高处安装空气阀。当有坡度的管道排水、管道内出现负压时,可快速向管道内补充空气。当管道充水时,空气阀及时排出空气,保持水流畅通。当管道内的气体全部排尽时,空气阀的关闭应适中、流速控制应合理,避免出现压力涌浪现象。显然,理想的空气阀应同时具有进气和排气的双重功能。

为确保灌溉系统安全运行,管道内绝对压力不能低于 5 m。管道内的真空度取决于水流条件、管道材质和空气阀孔口尺寸。为降低管道排水时的真空度,需要较大的孔口尺寸;但为降低管道充水时的流速,则需要较小的孔口尺寸,因此合理确定孔口尺寸非常重要。

以下是关于空气阀孔口尺寸的计算公式<sup>[5]</sup>。

#### 3.2.1 孔口空气流动理论

作为可压缩流体,空气的密度和体积随气压和温度变化而变化。当空气阀排气时,管道内补充的水流体积应等于该工作压力下排出的压缩气体体积;而当空气阀进气时,管道在负压条件下的吸入空气经膨胀后的体积大于在外界标准条件下的体积。

根据流体连续性,管道或孔口处任意位置空气的瞬间质量流量认为是恒定的,仅取决于该位置的气体密度,而与其气压呈反比。假设孔口的空气流动是在绝热条件下进行的,有两种流动状态,一是亚临界状态,另一种是超临界状态。临界流动状态的发生条件是:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (1)$$

式中: $p_1$  为空气阀内侧,即连接管道一侧的气压; $p_2$  为空气阀外侧,即与周围空气相连的气压,等同于大气压  $p_a$ ;  $k$  为空气绝热系数。

当空气阀进气时,  $p_2 > p_1$ ; 当空气阀排气时,  $p_1 > p_2$ 。当空气绝热系数  $k=1.4$ , 则气压比  $\frac{p_1}{p_2} = 1.89$ , 该值是孔口空气流动的临界值。

当气压比小于临界值时, 单位时间内通过孔口空气质量取决于孔口两侧的气压比。当气压比大于临界值时, 气流流动与孔口外侧条件无关, 只与内侧有关。因此, 空气阀孔口尺寸计算应对排气与进气分别进行。

### 3.2.2 排气孔口尺寸的计算

在亚临界状态下, 管道内的绝对压力  $p_1 < 18.9$  m, 通过孔口单位面积的空气质量流量为:

$$M = \sqrt{\frac{2gk}{k-1} p_1 \gamma \sqrt{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (2)$$

若孔口两侧气压比用  $\chi$  表示, 即  $\chi = \frac{p_1}{p_2}$ , 代入式(2)后, 经整理得到通过孔口的气体流速:

$$v_{\text{气体}} = \frac{Q}{A_{\text{孔口}}} = 756.5 \sqrt{\chi^{-1.42} - \chi^{-1.72}} \quad (3)$$

当管道内的绝对压力  $p_1 > 18.9$  m 时, 处于超临界状态, 孔口外侧流速等同于当地条件下的波速(声速), 此时通过孔口的气体速度保持不变, 其计算公式为:

$$v_{\text{气体}} = \frac{Q}{A_{\text{孔口}}} = \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \frac{p_1}{\gamma} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k+1}}} \quad (4)$$

计算步骤如下:

(1) 取管道静态工作压力的 150% 作为允许压力上升的最大值, 求得此时的管道压力波速值  $c$ 。

(2) 计算管道内水流的允许流速值, 采用 Joukovsky theorem 公式:

$$v_{\text{允许}} = \frac{g\Delta h}{c} \quad (5)$$

(3) 计算水流满足允许流速条件下, 空气阀进口侧的管道余压。

(4) 当计算的余压值等于或高 8.9 m 时, 空气阀孔口面积计算公式:

$$A_{\text{孔口}} = \frac{v_{\text{允许}} A_{\text{管道}}}{196} \quad (6)$$

(5) 如果管道余压低于 8.9 m 时, 空气流速可以采用式(3), 空气阀孔口尺寸计算公式为:

$$A_{\text{孔口}} = \frac{v_{\text{允许}} A_{\text{管道}}}{v_{\text{气体}}} \quad (7)$$

### 3.2.3 进气孔口尺寸计算

进气孔口尺寸计算公式和步骤与前面相似。这里, 气压比表示为  $\chi = \frac{p_2}{p_1}$ 。其中  $p_1$  表示空气阀外侧的气压, 等同于大气压; 而  $p_2$  表示空气阀内侧的气压, 处于负压状态。

对于亚临界状态, 满足  $1 > \chi > 0.528$ , 通过孔口的气体流速计算可用式(8):

$$v_{\text{气体}} = \frac{Q}{A_{\text{孔口}}} = 756.5 \sqrt{\chi^{-0.571} - \chi^{-0.286}} \quad (8)$$

当管道内的压力  $p_2$  低于 5.28 m 时, 空气流动处于超临界状态, 进入管道内的外界空气质量流量仅取决于恒定的大气压。因此, 空气阀进气的质量流量保持不变, 可以 500 kg/s 计,

相应的气体流速的计算公式表示为:

$$v_{\text{气体}} = \frac{Q}{A_{\text{孔口}}} = \frac{196}{\chi} \quad (9)$$

多数情况下, 管网排水时, 管道内绝对压力常高于 5.28 m, 很少出现超临界状态。

计算步骤如下:

(1) 取管道内的绝对压力最低值达到 5.28 m。

(2) 由管道水头损失反求水流速度。

(3) 气流速度用式(8)或式(9)求得。

(4) 空气阀孔口面积采用式(7)。

以上计算公式和步骤适用于管道顺坡或逆坡铺设情况, 对于管道内存在压力的交替变化或其他情况时, 需对计算公式和步骤进行修正。

### 3.3 选型计算实例

某灌溉工程的一段坡地输水管路, 长度 1 200 m, 选用外径 160 mm, 壁厚 4 mm 的 PVC 管, 地形坡度比 1:40。假设 PVC 管进口工作压力为 50 m, 允许管道最大工作压力超过正常工作压力 50%, 最大真空度 5 m, 压力波速为 1 000 m/s。

当管道充水时的最大流速采用式(5)得  $v_{\text{允许}} = 0.245$  m/s。

经过水力计算, 得到管道末端的工作压力约为 19.5 m, 超过临界值 8.9 m。可用式(6)确定空气阀孔口尺寸  $A_{\text{孔口}} = 22.7$  mm<sup>2</sup>。

当管道排水时, 管道内负压时的最低绝对压力 5 m, 此时气体流动处于超临界状态, 可用式(9)求得气体流速  $v_{\text{气体}} = 392$  m/s。

在坡度比 1/40 的管道排水时, 水头损失最大值为 25 m, 以此反求出管道内的水流流速为 2.01 m/s。则应用式(7)可求出孔口排气时的面积  $A_{\text{孔口}} = 93$  mm<sup>2</sup>。

根据进气和排气计算, 分别得到孔口尺寸相差近 4 倍, 如果简单地以进气或排气的计算结果来选择空气阀, 则将会给灌溉工程运行带来严重隐患。针对上述情况, 可考虑同时安装进气阀和排气阀各 1 个, 或一个复合式空气阀。

## 4 结 语

(1) 本文分析了灌溉工程中不安装空气阀将会带来的严重危害, 提出了灌溉用空气阀的结构类型和正确的安装方式。

(2) 本文给出了空气阀进气和排气孔口尺寸的计算公式和步骤, 对灌溉工程中的空气阀选型与设计具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 杨晓东, 朱满林, 李郁侠. 装有进排气阀的长距离压力输水系统水锤计算研究[J]. 水利学报, 2005, (增刊): 60-64.
- [2] 翁晓红, 匡许衡, 宋元胜, 等. 进排气阀压力涌浪的防护特性研究[J]. 中国农村水利水电, 1998, (8): 29-31.
- [3] 高仁超, 马传波. 长距离输水过程中管路进排气设计的几个问题[J]. 吉林水利, 2005, (6): 7-10.
- [4] 王维红, 王东萍. 供水长输管线排气阀的选择[J]. 阀门, 2005, (1): 39-41.
- [5] Y Dvir. Flow control devices[M]. Lehavot Habashan. Israel: 1997.