

文章编号:0253-9993(2010)S0-0232-04

# 矿用隔爆水槽智能液面维持装置

宋志安

(山东科技大学 机械电子工程学院,山东 青岛 266510)

**摘要:**介绍了一种隔爆水槽内液面维持装置,用浮子的浮力来控制阀芯运动实现液面维持功能,可以实现按设定液面高度自动对隔爆水槽补水,使隔爆水槽内储存水体始终处于饱和状态,保证了隔爆水槽能有足够的水量来防止瓦斯、煤尘爆炸事故的扩大。低成本实现对隔爆水槽自动加水和液面控制,彻底解决了施工人员与往来车辆间的相互影响和安全问题;它用进水水压控制阀芯运动实现隔爆水槽破损时能自动切断水源和报警。

**关键词:**隔爆水槽;液面维持;智能控制;瓦斯

**中图分类号:**TP275 **文献标志码:**A

## The intelligence liquid level maintenance device of the mineral product with the explosion-proof tank

SONG Zhi-an

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

**Abstract:** Introduced a liquid tank explosion maintain devices, with the buoyancy of the float valve to control liquid movement to achieve the maintenance function, set the liquid level could be achieved by automatic replenishment tank explosion, explosion-proof tank to store water was always in saturation, ensured explosion-proof tank have enough water to prevent gas and coal dust explosion, low cost automatic water tank on the explosion-proof and liquid level control, but also the construction workers and exchange interaction between vehicles and security issues were solved; hydraulic control valve movement when the explosion damaged tank and alarm automatically shut off the water was achieved by water press.

**Key words:** the explosion-proof tank; level maintenance; intelligent control; gas

目前,随着煤矿生产规模的逐步扩大和矿井生产能力的不断提高,井下各地点隔爆水槽的数量逐步增加。由于隔爆水袋内的储存水体受动态蒸发的影响,水量时刻都在减少,尤其是在风量大、温度高的采区更甚,造成灭火水雾因水量不足而不能有效隔断爆炸火焰的传播。因此,需要经常向水槽、水袋中注水、换水。由于井下隔爆水槽根据规定需安装在巷道顶部,高度都在2 m以上,增加了注水的难度。如果在巷道断面为20 m<sup>2</sup>的巷道中安装60 L水槽,根据《煤矿安全规程》规定,安装一组需安设136个水槽。按照传统的注水方式,用 $\phi 10$  mm的软管向水槽中注水,注满一个需要5 min,则注完一组水槽需12 h。每对矿

井根据采区范围的大小,需安设10组以上隔爆水槽,根据井下风速及井下温度的不同,需5~8 d向井下所有水槽中注次一水,大大增加了工人的工作量和劳动强度<sup>[1]</sup>。如果按一个煤矿12个隔爆棚,每次安排2人注水,5 d注一次水,一个月就要注水6次,按小时人工30元计需要花费103 680(元/月);1 a花费:1 244 160(元)。可见1 a用在隔爆水槽注水与维护上的代价就超过百万元。

隔爆水槽人工加水存在的主要问题<sup>[2]</sup>如下:

(1)用工较多,大巷加水时需要两人,一人监护看车辆和控制加水阀门,另一人进行加水。

(2)施工人员加水时必须站在隔爆水槽和架空

线下方,第一,面临触电危险;第二,来往车辆直接威胁加水人员的安全;第三,老化的架子承载能力差,当水加满后有掉落的风险;第四,加满后溢出的水经常飞溅在施工人员身上。

(3)严重制约大巷运输环节,造成运输系统紧张,对生产组织产生影响,降低了生产效率。

针对人工注水带来的问题,文献[1-4]介绍了一种用电磁阀、液位传感器、压力传感器等电子元器件来实现液位控制,系统复杂且需要防爆,运营成本高。本文介绍了一种隔爆水槽液面维持装置<sup>[5]</sup>,采用机械结构,如图1所示。

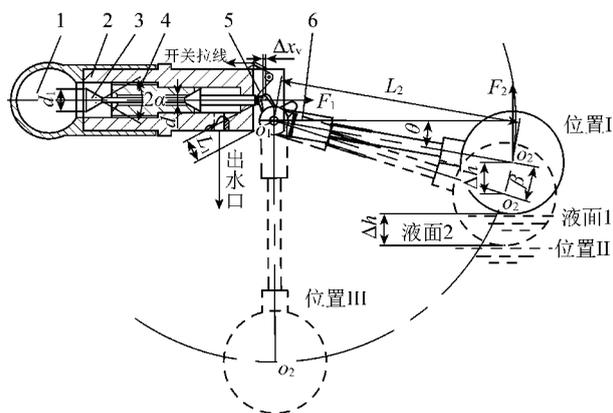


图1 隔爆水槽液面维持装置结构

Fig. 1 Explosion-proof tank liquid level maintaining device

1—进水管;2—阀壳;3—控制阀芯;4—阀座杆;  
5—开关拉线;6—浮子组件

该装置主要由进水管1、阀壳2、控制阀芯3、阀座杆4、开关拉线5和浮子组件6等组成,其中控制阀芯由左右两个镜像对称的锥形阀芯组成的一个杆件,开关拉线受控制阀芯控制电气开关的启闭,浮子组件上端有一压头与控制阀芯接触能在一定高度范围内进行液位控制。该装置有液面自动维持和隔爆水槽破损自动断水报警两个功能。由于整个过程不需要人参与,而由浮子的浮力来控制右锥阀阀芯的开启与关闭,从而实现自动注水和液面维持。有了饱满水量的隔爆水槽棚的全天候值守,才能防患于未然;在隔爆水槽使用过程中,当出现隔爆水槽破损的情况时,浮子组件就会在重力的作用下垂下,这时控制阀芯处于自由状态,在进水压力和稳态液动力的作用下控制阀芯右阀芯压紧阀座,切断水源和拉动控制开关,利用灯光报警等措施使巡视人员发现破损的隔爆水槽后及时更换。液面维持和报警断水两个功能都是自动完成的,实现了隔爆水槽的智能化运行。液面维持和报警断水两个功能都是自动完成的,而应用了该装置则可以每年节省百万元以上的隔爆水槽维护费用。该技术可广泛应用于各种隔爆水槽的自动加

水作业。

## 1 隔爆水槽作用

《煤矿安全规程》规定,开采有煤尘爆炸危险煤层的矿井,必须有预防和隔绝煤尘爆炸的措施。矿井的两翼、相邻的煤层、相邻的采煤工作面,煤层掘进巷道同与其相连的巷道间,煤仓与其相连通的巷道间,采用独立通风并有煤尘爆炸危险的其他地点与其相连通的巷道间,必须用隔爆水槽棚隔开。

矿用阻、隔爆装置是我国煤矿控制或减弱瓦斯煤尘爆炸的主要手段之一。抑爆技术的主要目的是把已经发生的爆炸控制在一定的范围内并扑灭,防止灾害事故的扩大,抑爆技术可分为被动式抑爆和自动式抑爆两大类。我国煤矿一般采用被动式抑爆技术,就是利用爆炸波自身的能量作用于预先设置在爆炸传播通道中的抑爆剂,形成一定区段的抑爆带,扑灭随后到达的传播火焰,同时,耗散激波能量,防止形成过高压,达到抑爆的目的。如隔爆水槽、水袋、岩粉棚等,都属于被动式抑爆装置。

隔爆水槽棚的作用是爆炸冲击波将水袋棚击碎,使水形成水雾,由于水的比热大,吸收热量效果好,可起到遮蔽辐射热的作用,水雾带迅速将火焰峰面扑灭,使爆炸高温形成膨胀传播的冲击波压力迅速减少,阻止爆炸的继续传播。

## 2 液面维持系统

### 2.1 初始水位高度的设定<sup>[5-8]</sup>

在图2所示的隔爆水槽棚隔爆水槽的上方沿巷道两边布置进水管,进水管上安装有隔爆水槽液面维持装置,每个隔爆水槽安设一个液面维持装置。根据《煤矿安全规程》和隔爆水槽出厂水位要求,来设置进水管的高度,当浮子组件压紧控制阀芯时,浮子底部最下位与初始水位一致。这个初始安装位置也即设定水位高度。

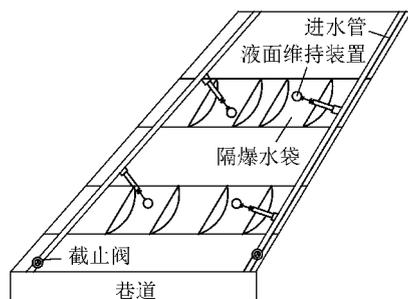


图2 使用液面维持装置的隔爆水槽棚

Fig. 2 The explosive devices used to maintain liquid level tank shed

## 2.2 浮子控制杆比值

假定从浮子组件的旋转中心  $o_1$  到浮子中心的长度为  $L_2$ , 从浮子组件的旋转中心  $o_1$  到压头与控制阀芯控制杆接触点的距离为  $L_1$ 。现就液面 1 浮子组件压紧控制阀芯, 阀芯压紧右阀座的情况进行讨论。

### 2.2.1 浮力

浮子是用薄不锈钢板或用塑料制成, 质量很轻, 与浮子所受的浮力相比可忽略不计。浮子的浮力是一个重要指标, 在它的作用下控制右锥阀的开启与关闭, 其值为

$$F_2 = \frac{1}{6} \pi D^3 \rho g \quad (1)$$

式中,  $D$  为浮子外径,  $m$ ;  $\rho$  为水的密度,  $kg/m^3$ ;  $g$  为重力加速度,  $m/s^2$ 。

### 2.2.2 锥阀阀芯受力

在控制阀芯右锥阀未开启时, 忽略稳态液动力的影响, 则阀芯受力为

$$F_1 = \frac{\pi}{4} d^2 p_{H_2O} \quad (2)$$

式中,  $d$  为进水管径,  $m$ ;  $p_{H_2O}$  为进水压力,  $Pa$ 。

### 2.2.3 力矩

浮力经控制杠杆放大后作用在控制阀芯杆的力要大于式(2)的值, 才能保证锥阀封闭。以浮子组件的旋转中心  $o_1$  为支点, 根据力矩平衡关系得

$$F_2 L_2 \cos \theta \geq F_1 L_1 \sin \theta \quad (3)$$

把式(1)、(2)代入(3)整理得

$$\frac{L_1}{L_2} \leq \frac{2D^3 \rho \cos \theta}{3d^2 p_{H_2O} \sin \theta} \quad (4)$$

由式(4)可以看出: 密度值  $\rho$ 、 $d$  与  $D$  不变, 而夹角  $\theta$  与初始安装位置有关的量, 安装完毕也是一个定值,  $L_1$  和  $L_2$  的比值仅与供水压力  $p_{H_2O}$  成反比。

## 2.3 流量变化

当浮子下降  $\Delta h$  时, 由液面 1 到达液面 2 时, 浮子组件控制杆压头压紧控制阀芯的力就会减少, 右阀芯和阀座之间就会有开口量  $\Delta x_v$ , 初始位置  $\overline{o_1 o_2}$  与液面下降  $\Delta h$  后  $\overline{o_1 o_2}$  之间的夹角为  $\beta$ , 当  $\beta$  很小时, 以  $L_1$  和  $L_2$  画得弧长近似等于水平和垂直长度。

$L_1$  绕  $o_1$  旋转后的水平长度为

$$\Delta x_v = L_1 \beta \quad (5)$$

$L_2$  绕  $o_1$  旋转后的垂直长度为

$$\Delta h = L_2 \beta \quad (6)$$

式(5)除以式(6), 得

$$\Delta x_v = \frac{L_1}{L_2} \Delta h \quad (7)$$

把式(4)代入式(7), 得

$$\Delta x_v \leq \frac{2D^3 \rho \cos \theta}{3d^2 p_{H_2O} \sin \theta} \Delta h \quad (8)$$

由式(8)可以看出:  $\Delta x_v$  与  $\Delta h$  成一一对应的线性关系。此时的流量<sup>[9]</sup>为

$$\Delta q = C_d \pi d \Delta x_v \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (9)$$

式中,  $C_d$  为流量系数, 取  $C_d = 0.65$ ;  $\Delta p$  为压力差, 这里出水口相对压力为 0, 故  $\Delta p = p_{H_2O}$ 。

式(9)可化简为

$$\Delta q \leq \frac{2D^3 C_d \pi \rho \cos \theta \Delta h}{3p_{H_2O} d \sin \theta} \sqrt{\frac{2p_{H_2O}}{\rho}} \quad (10)$$

## 2.4 稳定时间

假定矿用隔爆水槽的水平截面为矩形, 其面积为  $A(m^2)$ , 则液面下降  $\Delta h$  后隔爆水槽的体积变化为  $\Delta V = A\Delta h$ , 而  $\Delta V = \Delta t \Delta q$ , 则

$$\Delta t \Delta q = A\Delta h \quad (11)$$

把式(10)代入式(11), 得

$$\Delta t \geq \frac{3Adp_{H_2O} \sin \theta}{2D^3 C_d \pi \rho \cos \theta} \sqrt{\frac{\rho}{2p_{H_2O}}} \quad (12)$$

由式(12)可以看出: 锥阀右阀芯压紧阀座的时间也即稳定时间与液面下降量  $\Delta h$  无关, 而与供水压力  $p_{H_2O}$  有关; 供水压力  $p_{H_2O}$  高, 则稳定时间  $\Delta t$  就短; 与隔爆水槽的截面积  $A$  有关,  $A$  大, 则注水时间  $\Delta t$  长, 达到稳定的时间长; 与浮子外径  $D$  成反比,  $D$  大则浮力大, 对锥阀阀芯的压紧力大, 注水时间  $\Delta t$  就短。

## 2.5 液面维持控制原理

由上面的分析可以看出: 液面维持系统实质是一个闭环控制系统, 动作信号是所希望信号的函数。当液面下降  $\Delta h$  时, 浮子也随液面下移, 浮子组件的杠杆机构压紧控制阀芯的力就减少, 使控制阀芯的右锥阀打开, 有了开口量  $\Delta x_v$ , 在进水压力作用下不断向隔爆水槽里供水, 使液面上升, 阀口逐渐关闭, 当  $\Delta x_v = 0$  时, 关闭阀口,  $\Delta h = 0$ , 处于一个液面维持平衡状态。反过来杠杆机构对控制阀芯的压力又增大, 因此它是靠设定的水面高度和实际的水面高度的偏差信号  $\Delta h$  来工作的。液面控制原理如图 3 所示。

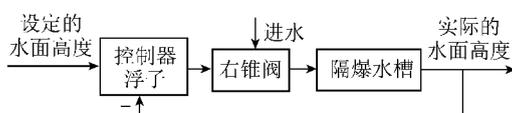


图 3 液面控制原理

Fig. 3 The principle of level surface control

### 3 报警与断水

上述的液面维持在隔爆水槽完好的情况下才能实现,如果出现隔爆水槽破损问题,(图1中位置II或位置III时),阀口被打开,不断向槽内注水,那么一方面会浪费大量的水,另一方面也会影响巷道内的运输和行人。

在隔爆水槽破损时,位置II或位置III时浮子组件过了压头区域进入圆周区域,不再对控制阀芯有作用,控制阀芯在这个区段处于自由状态,那么控制阀芯在进水水压和稳态液动力的作用下左锥阀压紧阀座的压紧力<sup>[10-11]</sup>为

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 p_{H_2O} + 0.43 \pi d x p_{H_2O} \quad (13)$$

式中, $x$ 为左锥阀的开口量, $m$ 。

在 $F$ 的作用下控制阀芯的右锥形阀芯压紧阀座,一方面是切断水源,另一方面是通过开关拉线打开开关,触发报警回路,开启闪光和声音提醒报警器,提醒维修人员及时更换隔爆水槽。

### 4 实验室试验

2010-05-20,完成产品样机后笔者在实验室进行了试验,在试验36h后隔爆水槽内维持得很好。通过从槽内减少水的方法来观察液面维持、断水报警来看,该装置的各项性能都满足设计要求。下面的工作就是要到煤矿进行工业性试验。

### 5 结论

本文介绍的隔爆水槽智能液面维持装置,结构简单,功能完善,制造成本低,维护方便,它利用浮子浮力和进水压力来分别控制左右阀芯与阀座的距离,实现液面智能维持功能和断水报警功能<sup>[12-15]</sup>。液面维持功能可以实现按设定液面高度自动对隔爆水槽补水,始终使隔爆水槽储存水体处于饱和状态,低成本实现对隔爆水槽自动加水和液面控制,保证了隔爆水槽能有足够的水量来防止瓦斯、煤尘爆炸事故扩大而造成的不可挽回的人员和财产损失,同时也解放了劳动力,彻底解决了施工人员与往来车辆间的相互影响和安全隐患;破损报警与自动断水功能,可以实现隔爆水槽破损时能自动切断水源和报警。隔爆水槽棚的全天候值守,而应用了该装置则可以每年节省下百万元以上的隔爆水槽维护费用,为煤矿的安全生产提供了保证,该技术有着重要的工程应用价值。

### 参考文献:

[1] 齐更亮,陈足章. 矿井隔爆水槽自动注水装置的研制与应用

[J]. 煤矿现代化,2008(6):68-69.

Qi Gengliang, Chen Zuzhang. Mine explosion-proof tank with automatic injection device for application[J]. Mine Modernization, 2008(6):68-69.

[2] 刘端举,李成银,郭方群,等. 隔爆水袋无人加水装置[P]. 中国专利:200720170294.8,2008-06-25.

Liu Duanju, Li Chengyin, Guo Fangqun, et al. No water bag water plant explosion[P]. Chinese patent:200720170294.8,2008-06-25.

[3] 齐更亮,翟所国,董曰喜,等. 矿井隔爆水槽自动注水装置[P]. 中国专利:200820026257.4,2009-05-27.

Qi Gengliang, Zhai Suoguo, Dong Yuxi, et al. Mine explosion-proof tank automatic injection device[P]. Chinese patent:200820026257.4,2009-05-27.

[4] 唐耀勇,王保齐,王道广,等. 煤矿井下隔爆水槽液位全自动供水装置[P]. 中国专利:200620161636.5,2007-12-19.

Tang Yaoyong, Wang Baoqi, Wang Daoguang, et al. Mine explosion-proof automatic water tank level devices[P]. China patent:200620161636.5,2007-12-19.

[5] 宋志安,王文馨,宋玉凤. 矿用隔爆水袋内液面维持装置[P]. 中国专利:200920227103.6,2010.

Song Zhi'an, Wang Wenxin, Song Yufeng. Flameproof surface water bag to maintain device[P]. Chinese patent:200920227103.6,2010.

[6] 李继水,安苓和. 隔爆水袋的安装[J]. 山东煤炭科技,2004(1):21.

Li Jishui, An Linghe. Installation of explosion-proof water bag[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2004(1):21.

[7] 蔡东红,杜贤流. 矿井隔爆水袋棚实用安装方法探讨[J]. 煤矿安全,2002,33(3):52-53.

Cai Donghong, Du Xianliu. Mine explosion-proof method of installing utility shed water bag[J]. Coal Mine Safety, 2002,33(3):52-53.

[8] 梁建玲. 浅谈矿井隔爆水袋棚实用安装方法[J]. 太原科技,2008(10):47.

Liang Jianling. Discussion on practical installation method for explosion-proof barrier with water[J]. Taiyuan Science and Technology, 2008(10):47.

[9] 章宏甲. 液压传动[M]. 北京:机械工业出版社,2001:35-37.

Zhang Hongjia. Hydraulic[M]. Beijing:China Machine Press,2001:35-37.

[10] 宋志安. 基于Matlab的液压伺服控制系统分析与设计[M]. 北京:国防工业出版社,2007:1-2,55-58.

[11] 李壮云. 液压元件与系统[M]. 北京:机械工业出版社,2005:157-204.

[12] 邹伯敏. 自动控制理论[M]. 北京:机械工业出版社,2003:1-20.

[13] 马鸣远. 人工智能与专家系统[M]. 北京:清华大学出版社,2006:1-3.

[14] 吴振顺. 液压控制系统[M]. 北京:高等教育出版社,2008:1-39.

[15] 宋志安. 机械工程控制基础——Matlab工程应用[M]. 北京:国防工业出版社,2008:1-10.