

# 带自吸罐的小型脱硫泵的设计及故障处理

## Design and Troubleshooting of Small Desulfurization Pump with Self-priming Tank

兰杰

Jie Lan

国家电投集团宁晋热电有限公司 中国·河北 邢台 055550

State Power Investment Group Ningjin Thermoelectric Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 055550, China

**摘要:** 论文主要针对带自吸罐的脱硫泵的现场应用作一些探讨,对自吸罐的安装方式,结构及工作原理、特点进行了阐述,由于其简单方便,在工业现场得到了大量应用,对自吸罐的设计计算进行了描述,提供了现场故障处理的理论依据,并对一典型现场故障进行了原因分析,对自吸罐系统故障处理提出了一些建议,对于工程技术人员解决相关问题提供了一些有益的参考。

**Abstract:** This paper mainly discusses the field application of desulfurization pump with self-priming tank, describes the installation mode, structure, working principle and characteristics of self-priming tank, because of its simple and convenient, has been widely used in industrial sites, describes the design calculation of self-priming tank, provides the theoretical basis for on-site fault treatment, and analyzes the cause of a typical on-site fault. Some suggestions on fault handling of self-priming tank system are put forward, and some useful references are provided for engineers and technicians to solve related problems.

**关键词:** 自吸罐; 脱硫泵; 伯努利方程; 波义耳定律; 汽蚀余量

**Keywords:** self-priming tank; desulfurization pump; Bernoulli equation; Boyle's law; cavitation margin

**DOI:** 10.12346/peti.v5i3.8447

## 1 引言

在电厂脱硫系统中,为节省工程用地或因工艺流程需要,常将浆液池设计成地下水池,为了便于系统布置,将小型脱硫泵配置自吸罐,放置于池子上方,这种方式简单高效,普遍运用,在实际运行中也会出现一些故障,在现场问题处理中,也会用到一些设计知识,便于技术人员进行分析,确定处理方案<sup>[1]</sup>,论文对脱硫泵自吸罐的原理、特点、设计计算及故障实例进行了说明。

## 2 自吸罐及脱硫泵的原理及特点

离心泵工作原理:在泵内充满水的情况下,泵叶轮旋转产生离心力,水在离心力的作用下甩向外围流进泵壳,于是水泵叶轮中心压力降低。这个压力低于进水管内的压力,水就在这个压力差的作用下,由吸水池流入叶轮。这样水泵就可以不断地抽水 and 放水了。脱硫泵由于浆液存在腐蚀,一般

在离心泵内增加耐腐蚀护套。

自吸罐的基本结构如图1所示,由阀门、注水口、筒体、吸水管、溢流孔及泵进水管等组成气密性良好的密封筒体<sup>[2]</sup>。

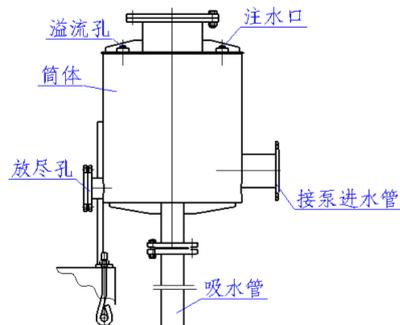


图1 自吸罐的基本结构

水泵第一次启动前,打开补水阀,将自吸罐灌满水。水

【作者简介】兰杰(1972-),男,中国河北赵县人,本科,从事燃料、灰硫、化学检修维护研究。

泵启动时，自吸罐水位不断下降，桶内空间不断增大，并产生负压，当桶内产生的负压足以克服水管顶和水池水面高差、进水管阻力及水流动能时，则可将水池的水提升到吸水罐并最终使自吸罐进水量达到平衡。自吸罐的特点是，随用随开，使用方便，运转可靠。

### 3 自吸罐的设计计算

水泵流量：Q，m<sup>3</sup>/h。

水泵在标准状态下（一个标准大气压、水温 20℃）的最大允许吸上真空高度 H<sub>s</sub>，m。

当地大气压 H<sub>A</sub>，kPa。

实际水温 t，℃。

地下水池如图 2 所示。

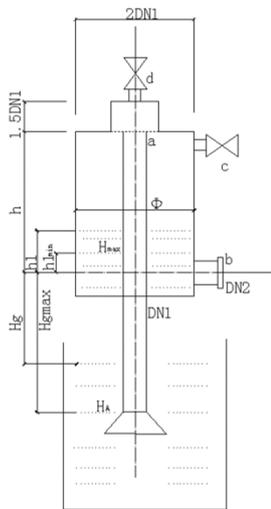


图 2 地下水池

接管 a：进水管，可按管内流速 V<sub>1</sub> = 0.6~1.2m/s，计算得直径 DN<sub>1</sub>。

接管 b：出水管，接水泵进水口。出水管管径可同水泵口径，但水泵进水口口径通常偏小，因而一般按管内流速 V<sub>2</sub> = 0.8~1.5m/s 计算出水管管径 DN<sub>2</sub><sup>[3]</sup>。

接管 c：吸水罐补水口，口径取 25~50mm。

H<sub>g</sub>：吸水罐出水口与地下水池液面的高差，H<sub>g,max</sub> 为水泵的安装高度。

h：进水管出水口和出水口（水泵吸水口）的高差，决定吸水罐的存水量。

h<sub>1</sub>：水泵启动到额定转速时吸水罐水位与水泵吸入口的高差，最小高差 h<sub>1,min</sub> 可使吸水罐产生最大负压，以便在极限高差 H<sub>g,max</sub> 情况下水泵的正常工作。可取 h<sub>1,min</sub> = DN<sub>2</sub>/2 + 0.2。而一定的 H<sub>g</sub> 与一定的吸水罐水位 h<sub>1</sub> 是对应的。

允许吸上真空高度：

水泵不发生汽蚀，其入口处允许的最低绝对压力，以液柱高度表示 H<sub>s</sub>，称为泵的允许吸上真空高度。

当水泵不在标准状态（一个大气压、20℃）下运行时，水泵的实际允许吸上真空高度 H<sub>s</sub>' 应根据 H<sub>s</sub> 进行修正。

$$H_s' = H_s - (10.33 - H_A) - (H_t - 0.24) = H_s + H_A - H_t - 10.09$$

式中：10.33 为标准大气压，换算为 mH<sub>2</sub>O 柱的值；H<sub>t</sub> 为实际水温 t℃下的汽化压力，kPa，计算中换算为 mH<sub>2</sub>O 柱。

吸水罐的最大负压应保证水泵不发生汽蚀。吸水罐的水面和水泵吸入口的能量方程为：

$$H_{\max} + v^2/g + h_{1\min} = H_{\lambda\min} + v_{\lambda}^2/g + h_2$$

式中：H<sub>max</sub> 为吸水罐的最大负压（最小压力）；H<sub>λ,min</sub> 为水泵吸入口的最小压力；v 为吸水罐内存水截面流速，数值很小，可忽略不计；v<sub>λ</sub> 为水泵吸入口流速；h<sub>2</sub> 为水泵吸入口的水头损失。

则：

$$H_{\max} = H_{\lambda\min} + v_{\lambda}^2/g - h_{1\min} + h_2 \quad (1)$$

吸水罐最大负压时其进水管出口断面和水池液面的能量方程为：

$$H_A + v_0^2/g = (H_{g\max} + h) + H_{\max} + v_1^2/g + h_1$$

式中：v 为吸水罐内存水截面流速，数值很小，可忽略不计；v<sub>1</sub> 为吸水罐进水管流速；h<sub>1</sub> 为吸水罐进水管的水头损失。

则：

$$H_{\max} = H_A - (H_{g\max} + h) - v_1^2/g - h_1 \quad (2)$$

由式（1）、（2）整理得：

$$H_A - H_{\lambda\min} = (H_{g\max} + h) + v_1^2/g + v_{\lambda}^2/g - h_{1\min} + h_1 + h_2 = H_s' \quad (3)$$

吸水罐所产生的最大负压应能保证水池设计最低水位的水吸入罐。

A、水泵启动前吸水罐的空气体积：

$$\begin{aligned} \Sigma V_0 &= V_{\text{罐头}} + V_{\text{管}} \\ &= \pi (2DN_1)^2/4 \times 1.25DN_1 + \pi (H_{g\max} + h) \times DN_1^2/4 \\ &= 5\pi DN_1^3/4 + \pi (H_{g\max} + h) \times DN_1^2/4 \end{aligned}$$

理想气体状态方程：

$$PV = nRT$$

在等温状态下，由理想气体状态方程可知压强 P 与体积 V 成反比，即：

$$\begin{aligned} H_A \Sigma V_0 &= H_{\max} \Sigma V_{\max} \\ \Sigma V_{\max} &= H_A \Sigma V_0 / H_{\max} \end{aligned}$$

B、吸水罐最大负压时空气体积：

$$\begin{aligned} \Sigma V_{\max} &= V_{\text{罐头}} + V_{\text{负压}} \\ &= 5\pi DN_1^3/4 + (\Phi^2 - DN_1^2) (h - h_{1\min}) / 4 \\ h &= (4 \Sigma V_{\max} - 5\pi DN_1^3) / \pi (\Phi^2 - DN_1^2) + h_{1\min} \end{aligned}$$

设计实例：

A、水泵参数：Q = 50m<sup>3</sup>/h；H<sub>s</sub> = 6m；D<sub>λ</sub> = 80mm。

B、夏季时当地大气压：

$$H_A = 997.2\text{kPa} = 10.17\text{mH}_2\text{O}$$

水温:  $t = 20^{\circ}\text{C}$ 。

可求水泵的实际最大允许吸上高度:

$$H_s' = 6 + 10.17 - 10.33 = 5.84$$

计算可得:

$$\text{DN1} = 125\text{mm}, V_1 = 1.132\text{m/s}$$

$$\text{DN2} = 125\text{mm}, V_2 = 1.132\text{m/s}$$

$$V_A = 2.763\text{m/s}$$

由公式可得 ( $h_1$ 、 $h_2$  数值较小, 可忽略不计):

$$H_{g_{\max}} + h = 5.65\text{m}$$

由公式 (2) 可得吸水罐的最大负压为:

$$H_{\max} = 4.456\text{mH}_2\text{O}$$

吸水罐尺寸  $\Phi$ ,  $h$  的计算:

$$\begin{aligned} \Sigma V_0 &= 5\pi \text{DN}^{3/4} + \pi (H_{g_{\max}} + h) \times \text{DN}^{1/4} \\ &= 5\pi/4 \times 0.1253 + \pi/4 \times 0.1252 \times 5.65 \\ &= 0.07701\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V_{\max} &= HA \Sigma V_0 / H_{\max} \\ &= 10.17/4.456 \times 0.07701 \\ &= 0.17575\text{m}^3 \end{aligned}$$

则:

$$\begin{aligned} H &= (4 \Sigma V_{\max} - 5\pi \text{DN}^{3/4}) / \pi (\Phi^2 - \text{DN}^{1/2}) + h_{1_{\min}} \\ &= (4 \times 0.07701 - 5\pi \times 0.1253) / \pi (\Phi^2 - 0.1252) + h_{1_{\min}} \\ &= 0.214 / (\Phi^2 - 0.0156) + 0.263 \end{aligned}$$

分别取  $\Phi = 0.5$ 、 $0.6$ 、 $0.7$ 。

则对应的  $h = 1.176$ 、 $0.884$ 、 $0.714$ 。

实际可取  $\Phi = 0.6$ ,  $h = 0.9$ 。

由  $H_{g_{\max}} + h = 5.65\text{m}$ 。

可得:  $H_{g_{\max}} = 4.75$ 。

考虑到  $h_1$ 、 $h_2$  的影响, 并留有余地, 可取  $H_{g_{\max}} = 4\text{m}$ 。

真空引水罐的容积可按下列简化公式计算:

$$(L + H) \times S <= 0.14V \text{ 或 } V >= 7(L + H) \times S$$

式中:  $L$  为吸水管垂直高度 (一般不大于  $6\text{m}$ ) 与水平长度之和;  $H$  为真空引水罐高度;  $S$  为吸水管截面积;  $V$  为真空引水罐总容积。

计算实例以现场为例:  $L = 6\text{m}$ ;  $H = 1.2\text{m}$ ;  $D = 125\text{mm}$ ;  
 $S = 0.0133\text{m}^2$ 。

可得真空引水罐的容积  $V = 0.67\text{m}^3$ , 引水罐的直径为  $0.85\text{m}$ 。

## 4 运行中的问题处理

配自吸罐的脱硫泵系统运行中会出现一些问题, 下面就以典型事例进行说明。

某电厂脱硫综合池配 3 台泵, 每泵配自吸罐一个, 运行中发现每台泵启动时需要反复注水, 才能启动, 而且启动一段时间后流量逐渐下降, 流量很低后需要操作人员重新注水才能恢复泵运行, 综合泵 3 小时流量运行曲线如图 3 所示。

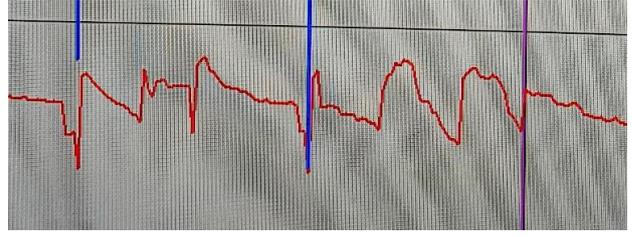


图 3 综合泵 3 小时流量运行曲线

根据上述现象, 分析如下:

①泵体故障, 导致流量不稳。

②自吸罐或管道漏气, 造成真空维持不住, 流量下降。

经解体检查泵体, 设备正常。在自吸罐上安装真空表, 经试验未发现真空下降现象。

后咨询设计人员确认自吸罐设计容量符合计算要求。进一步分析, 自吸罐真空满足要求时, 浆液在泵、管道、自吸罐间需要形成连续液流才能维持正常运行, 决定拆解自吸罐。将自吸罐切断后发现自吸罐由底部进液, 有一小段进液管道, 与出口相距很近, 造成上段空间不能有效利用。于是将进液管道加高至自吸罐顶部如图 4 所示。



图 4 吸罐顶部

在自吸罐内部发现部分脱硫玻璃鳞片碎片, 应该是碎片堵塞泵口, 导致流量随时间下降, 而自吸罐真空能够维持。

## 5 结语

自吸罐离心泵系统在电厂脱硫系统中广泛应用, 出现问题可从下面几个方面着手处理:

①自吸罐内水位不够: 检查水位, 必须符合要求的。

②自吸罐不密封: 检查装置气密性。

③自吸罐内介质沉积堵塞泵入口: 清理自吸罐内沉积物。

④泵无法实现自吸, 池内吸液管入口堵塞: 清理沉积物或增加入口滤网。

## 参考文献

- [1] 黄海丽, 王海舰, 刘欢. 带虹吸罐的卧式泵在硫酸系统酸性废水输送中的应用[J]. 硫酸工业, 2021(1).
- [2] 周建明, 张立秋. 自吸罐式自吸泵在循环水装置的探索与应用[J]. 化工管理, 2018(7).
- [3] 官大纯. 吸收塔进石灰石浆液量频降原因分析[J]. 华电技术, 2012(3).