

喷嘴浮选处理污水中的乳化油

北京工业大学工业水处理专业
北京化工三厂

遵照毛主席“教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合”的指示，坚持“开门办学”的方向，北京工业大学工业水处理专业的学员和教员同北京化工三厂的工人、技术人员密切结合，完成了新建2.5万吨重油蓄热裂解车间废水处理工程设计。在设计过程中，学习了上海制笔化工厂的经验，结合本工程实际情况，决定选用喷嘴浮选法去除废水中的乳化油。这种方法在不加混凝剂的情况下，乳化油的去除率可达60~80%，与加压溶气浮选的处理效果相差不多，既节省了混凝剂，又不致产生废渣以造成新的危害，并且设备简单，便于管理，可为国家节省投资及运转费用。

喷嘴浮选法是根据水喷射泵的原理，用污水做喷射流体，当污水从喷嘴以高速喷出时，在喷嘴的吸入室处形成低压区，空气就被吸进吸入室。当高速污水流喷入混合段时，同时将吸入室中的空气带入混合段，并将空气剪切为微小气泡。在混合段中，气与水相互混合，经扩压段流入浮选池。在浮选池中，微小气泡浮逸出水面，同时将乳化油带至水面加以去除。

(参阅图1)

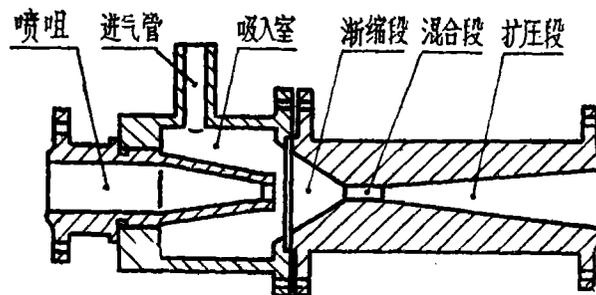


图1 喷嘴结构示意图

为了给设计提供可靠的依据，我们在北京化工三厂已投产的7500吨重油蓄热裂解车间进行了两次（74年3月和7月）中型的喷嘴浮选试验，总计取样180个，试验了喷嘴浸入深度、通风方式、喷嘴安装位置 and 不同喷嘴型式对处理效果的影响。试验结果表明：进水乳化油浓度在100~200毫克/升时，去除率达60~80%；进水含油浓度在50~80毫克/升时，去除率在50%左右。出水含油浓度一般为25~40毫克/升。酚的去除率可达35~50%（进水浓度20~30毫克/升）；COD的去除率在30~50%左右。

一、喷嘴浸入深度试验

为了求得处理效果较好的浮选深度，以便经济合理地决定浮选池池深，我们将喷嘴分别放置在试验水箱内水面以下约2米、3米、3.8米处，做了喷嘴不同浸入深度的对比试验。试验设备如图2所示。处理效果列于表1。

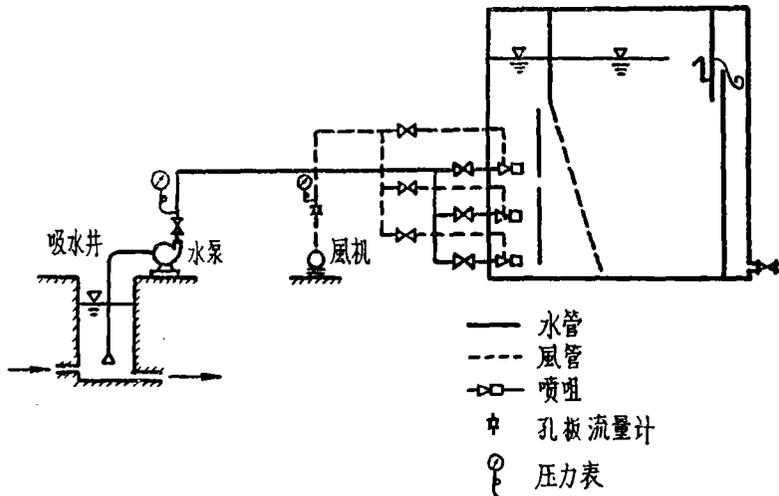


图2 喷嘴不同浸入深度试验设备示意

表1

喷嘴浸入深度 (米)		2	3	3.8	备 注	
处 理 效 果	乳 化 油	进水浓度	64.6	77.13	54.1	一、试验条件 处理污水流量 $Q_{水}=12 \text{ 米}^3/\text{时}$ 空压机通风气量 $Q_{气}=6 \text{ 米}^3/\text{时}$ 水温 $39\sim 41^{\circ}\text{C}$ 气温 $30\sim 34^{\circ}\text{C}$ (白天) $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ (夜) 取样时间 每隔 1.8 小时取样一次 二、进水 PH 值 = $7.0\sim 8.0$
		出水浓度	43.1	44.50	27.3	
		去除率%	33.2	42.3	49.5	
	挥 发 酚	进水浓度	20.7	21.9	17.2	
		出水浓度	15.7	15.2	10.6	
		去除率%	24.2	34.2	38.3	
COD	进水浓度	724.5	965.3	651.1		
	出水浓度	527.2	610.3	457.7		
	去除率%	27.2	36.8	29.7		
硫 化 物	进水浓度	10.4	10.2	8.1		
	出水浓度	7.5	7.3	3.8		
	去除率%	27.2	28.3	53		
可 溴 化 物	进水浓度	64.5	64.2	57.6		
	出水浓度	42.0	37.8	32.2		
	去除率%	34.9	41.4	44		
毫 克 / 升	苯	进水浓度	56.7	57.0	72.4	
		出水浓度	36.7	36.5	37.3	
		去除率%	35.3	36	48.4	

从表1可见, 喷嘴浸入深度大, 处理效果较好。根据试验结果, 考虑本厂具体条件, 选用喷嘴浸入深度为3米, 已可满足设计要求。

二、通风方式对比试验

目前喷嘴浮选大都采用风机送风。我们根据喷嘴的工作原理提出了去掉风机, 采用自然通风(即进气管直接与大气相通)的方案, 并进行了机械通风与自然通风的对比试验。为测定自然通风的处理效果, 选用了三种型式的喷嘴(见下文), 进行了11次试验, 得出四组对比结果列于表2。试验设备参阅图2和图3。

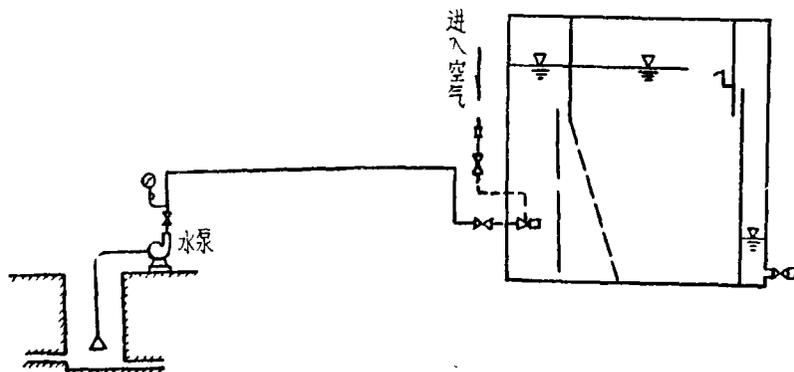


图3 喷嘴自然通风试验设备示意(图例同前)

表2

喷嘴型式		1#		2#		2#		3#		
		机械	自然	机械	自然	机械	自然	机械	自然	
试验结果	乳化油	进水浓度	149.7	100.2	51.2	82.3	167.5	173.1	69.2	182.3
		出水浓度	47.0	32.7	26.5	35.4	52.1	58.6	19.7	45.5
		去除率%	68.6	67.4	48.2	57.0	68.9	66.2	71.5	75.0
	挥发酚	进水浓度	29.0	24.5	19.5	22.2	29.6	27.4	24.3	25.3
		出水浓度	19.0	13.6	15.2	14.0	16.6	15.4	12.9	15.5
		去除率%	34.5	44.4	22.2	37.1	43.4	44.1	46.9	38.9
	COD	进水浓度	965.2	1190.8	1046.5	907.8	1635.5	1605.3	710.5	1231.4
		出水浓度	583.0	753.9	751.9	660.6	637.0	730.0	537.7	575.4
		去除率%	39.6	36.7	28.2	27.2	61.0	54.5	24.3	53.2
	硫化物	进水浓度	13.2	11.1	8.2	9.7	22.0	17.6	10.9	19.7
		出水浓度	4.5	2.7	2.6	1.5	6.7	5.9	2.7	6.4
		去除率%	68.0	75.2	68.2	85.0	69.5	66.6	74.4	67.4
	可溴化物	进水浓度	87.8	98.9	82.4	98.1	105.8	87.8	59.8	107.4
		出水浓度	42.6	42.1	41.7	44.6	44.2	46.8	28.7	46.9
		去除率%	51.4	57.4	49.4	54.5	58.2	47.8	52.0	56.4
	苯	进水浓度	48.9	55.4	58.0		55.6	111.7	41.0	52.8
		出水浓度	24.5	38.3	42.0		30.6	72.8	31.8	33.0
		去除率%	49.9	30.9	27.6		45.0	34.7	22.5	37.5

以上试验的条件为：污水流量 12 米³/时；进风量机械通风为 6 米³/时，自然通风约为 4~6 米³/时；喷嘴浸入深度为 3 米；其它条件与喷嘴浸入深度试验相同。

对比试验的结果说明，去掉风机采用自然通风是完全可行的，处理效果不受影响。

我们认为，水质的处理效果是与进气的多少有关的。选用风机送风就是利用风机造成一定的风压，把空气压入喷嘴以保证所需的空气量。从喷嘴的工作原理中我们知道，高速水流冲出喷嘴时，在喷嘴附近造成了低压区（形成真空），因此喷嘴处具有吸气作用，不必用风机送风，喷嘴就可吸入空气。只要喷嘴设计合理，采用自然通风同样可以保证浮选所需要的空气量。

例如，1# 喷嘴自然通风时最大进气量为 4.8 米³/时，当修改设计改用 2# 喷嘴时，自然通风最大进气量可达 7.5 米³/时。

三、喷嘴安装位置试验

目前国内外采用喷嘴浮选法多把喷嘴放在浮选池中，水与空气在喷嘴处混合后很快从喷嘴喷出，混合时间较短（不到一秒钟）。在试验水槽中可看到涌出较多的大气泡（直径约有 20~30mm），这对浮选是最不利的。

我们决定将喷嘴移出浮选池，安装在管道中，使污水流经喷嘴后，再经过约 14 米长的管道流入池中，以增加水气混合的时间（9 秒）。为此进行了喷嘴安装在池内和安装在管道的对比试验。

试验结果列于表 3。试验设备如图 4 所示。

表 3

试验结果		喷嘴型式 安装位置	2#		3#		备 注
			池 内	管 道	池 内	管 道	
处 理 效 果 毫克/升	乳化油	进水浓度	173.1	140.9	182.3	103.4	2# 喷嘴进气量为 6 米 ³ /时 3# 喷嘴进气量为 4.8 米 ³ /时 浸入深度 3 米 自然通风 其它试验条件同前
		出水浓度	58.6	31.8	45.5	32.1	
		去除率%	66.2	77.4	75.0	68.9	
	挥发酚	进水浓度	27.4	31.6	25.3	29.6	
		出水浓度	15.4	13.7	15.5	15.8	
		去除率%	44.1	53.5	38.9	46.8	
	COD	进水浓度	1065.3	1142.4	1231.4	867.0	
		去除率%	730.0	569.4	575.4	574.0	
	硫化物	进水浓度	17.6	20.6	19.7	20.0	
		出水浓度	5.9	7.5	6.4	8.0	
		去除率%	66.6	63.6	67.4	60.1	
	可溴化物	进水浓度	87.9	126.6	107.4	121.1	
		出水浓度	46.8	47.4	46.9	50.7	
		去除率%	47.8	60.4	56.4	58.0	
	苯	进水浓度	111.7	36.2	52.8	46.4	
		出水浓度	72.8	20.2	33.0	26.1	
		去除率%	34.7	44.0	37.5	43.7	

从试验结果可以看出,当喷嘴保证足够进气量时,喷嘴安装在管道上的处理效果是很好的。使用2#喷嘴,乳化油的去除率较高(77.4%),出口浓度也较低(31.8毫克/升)。使用

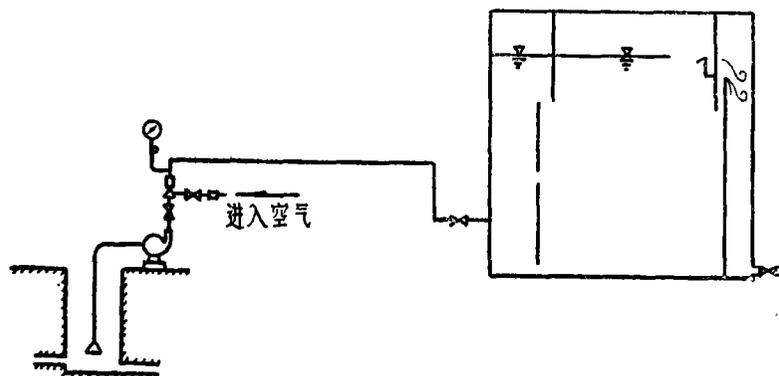


图4 喷嘴安装在管道中试验设备示意图(图例同前)

3#喷嘴时,进气量不足(只有 $4.8\text{米}^3/\text{时}$),但处理效果仍较好,乳化油的去除率达68.9%,出口浓度只有32.1毫克/升。可见,将喷嘴安装在管道上对污水的处理效果是较好的。同时便于操作观察和维护检修,也便于在喷嘴上安装各种仪器仪表,以利于进行研究工作。

将喷嘴安装在管道上,主要是增加了气水混合的时间。当污水流经管道冲出喷嘴时,造成吸入室的真空,因而将空气吸入,吸入的空气被高速污水水流剪切为微小气泡与污水混合进入管道中。由于管道中的流速很大,而且从喷嘴冲出的水流断面流速分布不均匀,速度梯度较大,因而具有水力搅拌作用,使水与气泡充分混合。混合得比较均匀的污水流入试验水槽中进行浮选,效果必然较好。

在试验过程中,我们还观察了水槽中的气泡情况。发现直径约 $20\sim 30\text{mm}$ 的大气泡很少出现,大量的气泡直径很小,只有针尖大小,要比喷嘴安装在池内时的气泡小得多。这也说明喷嘴安装在管道中对浮选是有利的。

四、喷嘴不同类型的试验

喷嘴浮选的主要设备就是喷嘴。喷嘴的型式,各部分的尺寸对浮选的效果是有影响的。我们选用三种不同类型的喷嘴作了对比试验。

喷嘴的结构见图5。各部分的尺寸标注在表4中。

试验结果表明,当采用自然通风,将喷嘴安装在管道中时,乳化油的去除率以2#喷嘴为最高,达77.4%,乳化油的出水浓度也较低,为31.8毫克/升(参阅表3)。

2#与3#喷嘴比较,只是混合段喉部直径和长度不同,试验中发现3#喷嘴最大进气量为 $4.8\text{米}^3/\text{时}$,而2#喷嘴进气量最大可达 $7.5\text{米}^3/\text{时}$ 。这说明,喉部的尺寸会影响进气量的多少,喉部直径过小,阻力加大,进气量减小。因而采用自然通风,必须合理选择喉部结构尺寸,以保证所需的空气量。

在试验中还发现,扩压段的长度(L_2)和扩散角度(α)对处理效果影响不显著。例如将喷

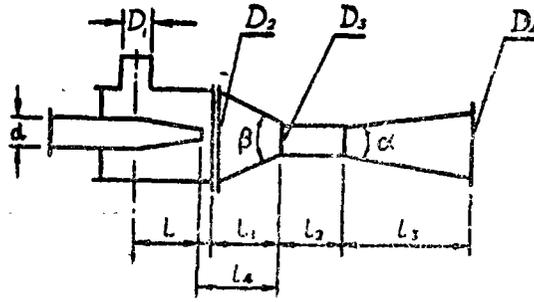


表 4

		1# 喷嘴	2# 喷嘴	3# 喷嘴
喷嘴直径 mm	d_0	15	14	14
喷嘴前部直径	d	50	50	50
进气管直径	D_1	25	25	25
混合段进口直径	D_2	80	80	80
混合段喉段直径	D_3	18	25	18
扩压段出口直径	D_4	80	50	50
喷嘴长度	L	112	112	112
渐缩段长度	L_1	54	47.6	54
喉部长度	L_2	40	150	40
扩压段长度	L_3	31	200	204
喷嘴与喉部距离	L_4	56	61.6	68
	β	60°	60°	60°
	α	90°	7°10'	9°6'

五、关于喷嘴浮选的工作原理和喷嘴的堵塞问题

1. 关于喷嘴的工作原理,有的认为:污水从喷嘴喷出,吸入空气,进入混合段,气水混合后经扩压段时有增压作用,因而使较多的空气溶于污水中,当污水喷出喷嘴流入浮选池后,因减压使溶于水中的空气逸出,对乳化油进行浮选。

为了验证有无增压溶气的作用,我们在喷嘴的不同位置安装了真空表或压力表,以测定

其压力的变化情况。仪表布置如图 6 所示。

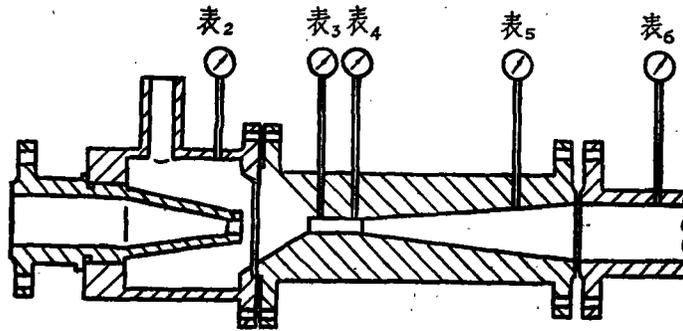


图 6 真空、压力仪表布置示意

试验中，污水流量为 12 米³/时；空气流量为 6 米³/时；水泵压力为 2.8 公斤/厘米²。测得数据如表 5 所列。

表 5

表号	安装位置	表的名称	读 数	备 注
1	泵的压水管	压力表	2.8 kg/cm ²	
2	吸入室	真空表	0(偶尔 90-100 mmHg)	当关闭进气阀门时真空度为 630mmHg
3	混合段入口	真空压力表	0(同上)	当关闭进气阀门时真空度为 650mmHg
4	混合段出口	真空力压表	0.1~0.2 kg/cm ²	
5	扩压段	压力表	0.5~0.6 kg/cm ²	
6	短 管	压力表	0.6~0.7 kg/cm ²	

空气在水中溶解度的大小是随温度和压力而变的。在 40°C、1 个大气压的条件下，空气在水中的饱和溶解度为 13.7 毫升/升；1.7 个大气压的条件下，则为 23 毫升/升（每升水中溶解 23 毫升的空气）。在我们的试验中，气水比为 1:2，每升水中吸入 500 毫升的空气，经喷嘴后压力值为 0.6~0.7 kg/cm²（表压），因此只有 23 毫升的空气能溶于水，其余 477 毫升的气体是与水呈混合状态的，经喷嘴流入浮选池后，有约 487 毫升的气体逸出水面进行浮选。所以我们认为浮选法主要是气水混合，而不是加压溶气浮选。

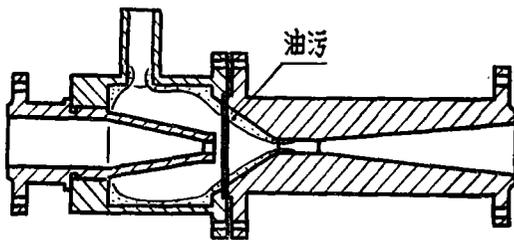


图 7 油污堵塞位置示意

2. 关于喷嘴的堵塞问题。在试验中，当喷嘴连续运转 30~50 小时，就出现喷嘴堵塞现象，使水量、气量减小。发展严重时，进气管完全堵塞，不能进气。经拆开喷嘴，发现堵塞物主要是油污，堵塞位置在吸入室和渐缩段（参阅图 7）。

试验所用的污水来自该厂小裂解车间的沉淀隔油池，由于试验时裂解炉工作不够稳定以及隔油池排油不正常，因此在污水中常常带来大量浮油流入喷嘴，使进水含油浓度达到200~400毫克/升。高浓度的含油污水通过吸入室流入混合段时，由于喉部的断面缩窄，使水流受阻，因而在吸入室中形成回流，一些浮油就存于吸入室中，连续运转时间越长，淤积越多，就造成吸入室的堵塞。

选用机械通风，用鼓风机送风(风压在 0.6 kg/cm^2 左右)也同样存在喷嘴的堵塞问题。

因此，在采用喷嘴浮选法去除乳化油时，必须考虑喷嘴的堵塞问题，设计安装防治堵塞的措施。我们在试验中，采用在通气管中通入蒸气的办法进行吹扫，效果显著。

如若保证沉淀隔油池运转正常，喷嘴浮选的进水含油浓度不超过150毫克/升，喷嘴的堵塞问题会减轻许多。

六、小 结

合理地选择喷嘴型式，采用喷嘴浮选法去除乳化油是可行的。这种方法无须投加任何混凝剂，不但节省了资金，而且避免了因加混凝剂而产生的废渣。

2. 喷嘴浮选法处理效果，当进水含油浓度在100~200毫克/升时，去除率为60~80%；进水浓度在50~80毫克/升时，去除率为50%左右；出水浓度为25~40毫克/升左右。进水含酚浓度在20~30毫克/升时，去除率在35~50%左右。如污水采用二级喷嘴浮选处理后，则为下一级生化处理准备了充分条件。

3. 只要喷嘴设计合理，采用自然通风，去掉风机鼓风是完全可行的。操作中应注意停车时先关闭通风阀门，以防污水倒灌。

4. 将喷嘴安装在管道上优点较多，在我们的设计中，推荐采用这种方案。

5. 采用喷嘴放于管道方案，浮选池深应大于3米；如采用喷嘴放于池中方案，应使喷嘴浸入深度大于3米为宜。

6. 关于气水比，我们根据上海制笔化工厂的试验采用1:2，没有进行这方面的试验。关于喷嘴型式及各部分尺寸的决定，虽然做了一些试验，但很不充分，有待进一步研究。