

文章编号: 1000-6931(2001)S0-0089-09

高放废液贮槽气镇器脉冲搅拌系统研究

王世诚¹, 范淑茹¹, 姜朝晖¹, 邓国清¹, 程敦娴¹, 李晓薇¹, 段世豪¹,
刘坤贤², 魏松盛², 张群太², 赵培群², 安军²,
郭周全², 孙斌², 祖丽萍², 宋军²

(1. 北京核工程研究设计院, 北京 100840; 2. 兰州核燃料厂, 甘肃 兰州 732850)

摘要:采用液-液脉冲射流技术,建立了高放废液贮槽气镇器脉冲搅拌系统实验装置。以水和模拟料液为介质,研究了不同液位条件下气镇器脉冲搅拌系统的几何参数、操作参数及控制条件等,确定了搅拌效果好、经济、安全的最佳工艺参数。实验结果表明:气镇器脉冲搅拌器是用于搅拌含有不溶性固体颗粒的高放废液、防止其在贮槽中沉积和板结的安全可靠、免维修的新型搅拌装置。

关键词:高放废液;气镇器;脉冲射流;搅拌

中图分类号: TL941.22; TQ051.72 **文献标识码:** A

采用适当的搅拌器进行搅拌是防止高放废液贮槽内固体物沉积和板结的重要技术措施之一。高放废液贮槽内的搅拌器,不宜采用机械搅拌,只能采用无运动部件的免维修搅拌器,国际上的有核国家通常采用空气升液循环器和气镇器脉冲搅拌器。

目前,我国某厂正在扩建的高放废液贮槽拟采用空气升液循环器和气镇器脉冲搅拌器并用的搅拌系统。前者已在高放废液贮槽中得以应用,而后者国内尚无实际经验。为此,本工作对气镇器脉冲搅拌系统中脉冲搅拌装置的几何参数、操作参数以及控制条件等进行研究,以寻找搅拌效果好、经济、安全的最佳工艺参数。

1 气镇器脉冲搅拌装置

1.1 工作原理

高放废液贮槽气镇器脉冲搅拌装置由周边气镇器、中央气镇器及其供气系统组成。它的工作分为两个过程。1) 送压过程:压缩空气作用于气镇器筒内液体形成有压流体,通过气镇器底部喷嘴高速射出形成射流,射流冲扫贮槽部分槽底,使沉积物泛起。2) 排气及反吸过程:筒内压缩空气从气镇器顶部排气孔排出,筒内压力降低,贮槽内流体被反吸到气镇器筒内。如

收稿日期:2000-12-05;修回日期:2001-03-05

作者简介:王世诚(1936—),男,辽宁沈阳人,研究员级高级工程师,核化工专业

此反复循环,实现脉冲式搅拌。供气量及供气时间由电子装置通过自动阀门进行控制。

1.2 装置构成

脉冲搅拌装置由周边气镇器、中央气镇器、空气升液循环搅拌器和供气系统组成(图1)。气镇器定期水平方向冲扫部分槽底,空气升液循环搅拌器使贮槽内的废液连续垂直方向搅动。

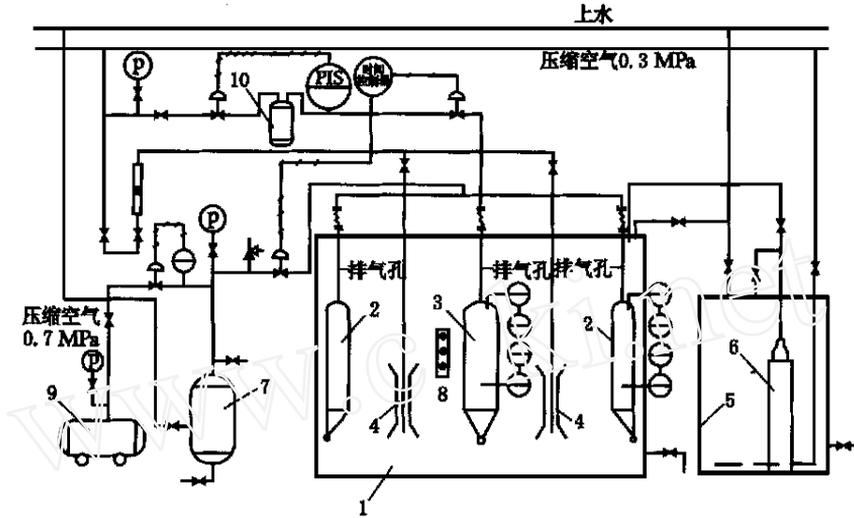


图1 气镇器脉冲搅拌系统流程图

Fig. 1 Flow chart of ballast pulse mixing system

- 1——废液贮槽;2——周边气镇器;3——中央气镇器;4——空气升液循环搅拌器;
5——配料槽;6——泵;7——压缩空气罐;8——水下照明装置;
9——空气压缩机;10——压缩空气缓冲罐

气镇器为圆柱形筒体,底部为圆锥形,端头为喷嘴(文丘里管),顶部封头处用管道与脉冲供气系统相接。管道上开一小孔,可使空气进入贮槽。当无空气入槽时,气镇器内的液面与贮槽液面同高。

1.2.1 周边气镇器 周边气镇器外形尺寸为 $\phi 350 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}$,喷嘴喉径 $\phi 26 \text{ mm}$ 。气镇器喷嘴与贮槽液体之间维持液封,即不能让气镇器内的空气从搅拌器喷嘴吹出而穿透。本试验的贮槽最高液位为 2700 mm ,气镇器喷嘴距槽底高 $h = 400 \text{ mm}$,排气孔 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 时,约需 0.25 MPa 空气 145 L 。气镇器中的液体由喷嘴形成射流喷射出需 51 s ,到 51 s 时,气镇器中的压强与贮槽里的液体静压强平衡,气镇器中的空气经排气孔排出。周边气镇器搅拌系统的脉冲周期为每小时1次,由时间控制器控制周边气镇器送气时间和送气次序。

1.2.2 中央气镇器 中央气镇器的尺寸为 $\phi 500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}$,锥形底部端头为一喷嘴,喷嘴喉径 $\phi 26 \text{ mm}$ 。气镇器顶部连接进气管,管上有排气孔。中央气镇器的时间控制器和控制仪表与周边气镇器的分开设。 0.3 MPa 脉冲气源供给中央气镇器。对本试验,贮槽最高液位为 2700 mm 、 $h = 400 \text{ mm}$ 、 $\phi = 3.5 \text{ mm}$,在以 0.1 MPa 压缩空气供气条件下送气约需 44 s 。

周边气镇器和中央气镇器以同时送气搅拌(模式1)和间隔送气搅拌(模式2)两种模式工作。

试验装置中设立若干监测点及监测仪表,以实现工艺过程的自动控制。

2 气镇器脉冲搅拌试验

试验分两阶段进行。第一阶段为水试验,包括单体和联动两项试验内容。水试验以掺入小颗粒状树脂的水为工质,通过直接观察树脂被冲扫距离判断搅拌效果。第二阶段以模拟料液为工质,将钛白粉掺入密度大于 1.30 g/cm^3 的 NaNO_3 水溶液来制备模拟料液。钛白粉的主要化学组成为 TiO_2 , 49%; Fe_2O_3 , 37%; 其余成份, 14%。粒度为 $0 \sim 44 \mu\text{m}$ 。钛白粉加入量按固液比为 1:14 来控制。

2.1 单体水试验

2.1.1 周边气镇器

2.1.1.1 试验条件 将气镇器中心与贮槽壁间的距离 b 固定,使 $b = 300 \text{ mm}$;气镇器喷嘴与槽底间的距离 $h = 400, 500 \text{ mm}$;排气孔径 $\phi = 2.5, 3.5, 4.5 \text{ mm}$;喷嘴与槽壁夹角 $\alpha = 22^\circ$;压缩空气罐压力 $P_0 = 0.08 \sim 0.35 \text{ MPa}$;贮槽液位高度 $H = 1500, 1900, 2300, 2700 \text{ mm}$ 。

2.1.1.2 试验结果及其分析 在上述试验条件下,获得主要结果如下。1) 周边气镇器喷嘴口与槽底间的距离 h 对搅拌效果有影响。在其他试验条件相同情况下, $h = 400 \text{ mm}$ 均比 $h = 500 \text{ mm}$ 时的表观搅拌距离大,搅拌效果好。这是因为 $h = 400 \text{ mm}$ 时的射流入射点最为接近贮槽壁与底间过渡角的缘故。2) 贮槽底与壁间圆弧半径 R 对搅拌效果亦有影响。当 $R = 80 \text{ mm}$ 时,表观搅拌距离比 $R = 50 \text{ mm}$ 时的大 18%~25%。显然, R 大,搅拌效果好。3) 漏气率 随排气孔孔径 ϕ 增大而增大。 $h = 400 \text{ mm}$ 、 $\phi = 2.5 \text{ mm}$ 时, 22%; $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 时,

37%; $\phi = 4.5 \text{ mm}$ 时, 50%。从节省气源角度考虑,以 $\phi = 2.5 \text{ mm}$ 为好,3.5 mm 次之,4.5 mm 时,50%的压缩空气损失在压气过程中。但 $\phi = 2.5 \text{ mm}$ 时,气镇器的冲程周期 T

过长,即在吸程时,周边气镇器排气太慢。综合考虑,选择排气孔孔径 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 为最佳。4) 综上所述可看出:

$h = 400 \text{ mm}$ 、 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 、 $\alpha = 22^\circ$ 和 $R = 80 \text{ mm}$ 为最佳几何参数。在此条件下,

压缩空气罐内压缩空气容积 V_0 、罐内压力 p_0 与贮槽液位高度 H 的关系曲线示于图 2。从图 2 可见: $H \leq 2300 \text{ mm}$ 时,最佳操作参数 $p_0 = 0.2 \text{ MPa}$; $H > 2300 \text{ mm}$ 时, $p_0 = 0.25 \text{ MPa}$ 。

5) 从穿透试验数据可以获得在最佳几何参数

$h = 400 \text{ mm}$ 、 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 、 $\alpha = 22^\circ$ 和 $R = 80 \text{ mm}$ 条件下的压缩空气罐最佳操作条件曲线(图 3)。图 3 中阴影部分为工作区。6) 在周边气镇器最佳几何参数和压缩空气罐最佳操作参数条件下试验测试的周边气镇器内的工作特性列于表 1,穿透曲线示于图 4。

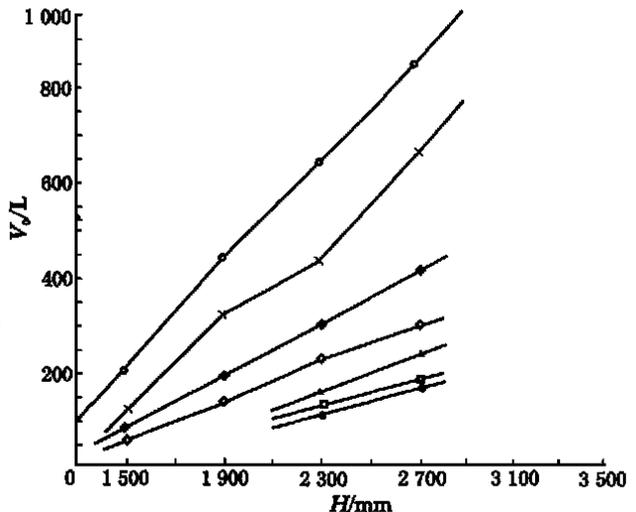


图 2 周边气镇器最佳几何参数条件下 p_0 、 V_0 与 H 的关系曲线

Fig. 2 Curves of p_0 and V_0 vs H

at the optimum size parameter of peripheral ballast

最佳几何参数: $h = 400 \text{ mm}$; $\phi = 3.5 \text{ mm}$; $\alpha = 22^\circ$; $R = 80 \text{ mm}$

p_0 (MPa): —○—0.02; ×—0.10; —●—0.15;

—△—0.20; —□—0.25; —◇—0.30; —○—0.35

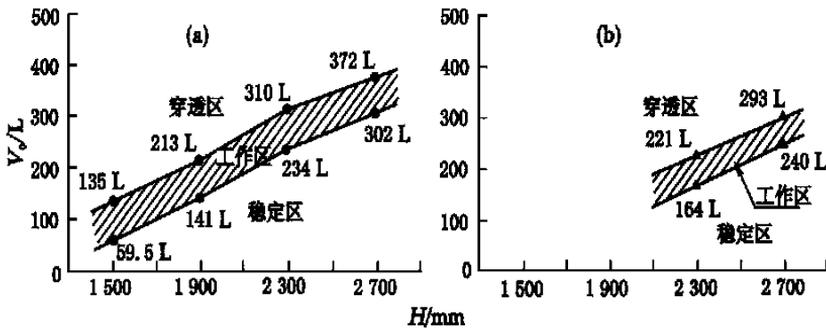


图3 压缩空气罐的最佳操作条件曲线

Fig. 3 The optimum operation conditional curves of compress air tank

(a) — $p_0 = 0.20$ MPa; (b) — $p_0 = 0.25$ MPa

几何参数: $h = 400$ mm; $\phi = 3.5$ mm; $\alpha = 22^\circ$; $R = 80$ mm

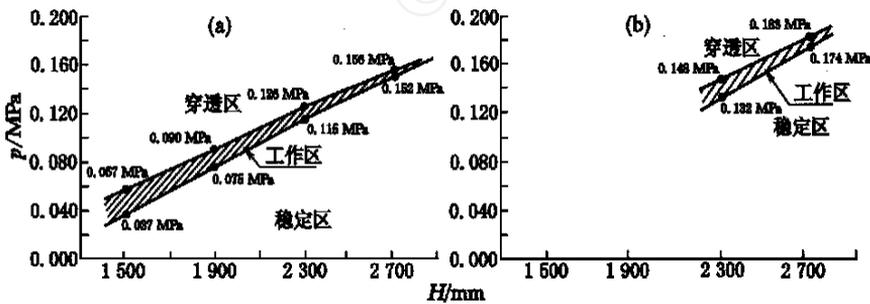


图4 周边气镇器的穿透曲线

Fig. 4 Penetrating curves of peripheral ballast

(a) — $p_0 = 0.20$ MPa; (b) — $p_0 = 0.25$ MPa

几何参数: $h = 400$ mm; $\phi = 3.5$ mm; $\alpha = 22^\circ$; $R = 80$ mm

表1 最佳几何参数条件下周边气镇器内的工作特性

Table 1 Working characteristics under the optimum size parameter of peripheral ballast

序号	贮槽液位高度 H/mm	周边气镇器 工作条件/ mm	压空罐最佳操作参数		周边气镇器内工作特性			
			p_0/MPa	$V_{0,e}, V_{0,p}/L$	$e, p/s$	$T_e, T_p/min$	$p_{max,e}, p_{max,p}/MPa$	
1	1 500	1 500 - L_e ~ 1 500 - L_p	0.20	59.5, 135	27.6, 35	3.5, 4.7	0.037, 0.057	
2	1 900	1 900 - L_e ~ 1 900 - L_p	0.20	141, 213	39.2, 45	5.0, 6.0	0.075, 0.090	
3	2 300	2 300 - L_e ~ 2 300 - L_p	0.20 0.25	234, 310	51, 56	5.6, 6.9	0.115, 0.126	
4	2 700	2 700 - L_e ~ 2 700 - L_p	0.20 0.25	302, 240	56.4, 56	72.0, 66	0.152, 0.183	

注:几何参数 $h = 400$ mm, $\phi = 35$ mm, $\alpha = 22^\circ$, $R = 80$ mm; L_e, p_{max} 和 T 分别为气镇器内液位高度和最大压力, 送压时间, 冲程周期; 下角标“e”和“p”分别表示在平衡条件和穿透条件下

2.1.2 中央气镇器

2.1.2.1 试验条件 调整固定中央气镇器的位置,使 $h = 400、500 \text{ mm}$;排气孔 $\phi = 2.5、3.5、4.5 \text{ mm}$;贮槽液面高度 $H = 1\ 500、1\ 900、2\ 300 \text{ 和 } 2\ 700 \text{ mm}$;压缩空气缓冲罐压力 $p = 0.08 \sim 0.10 \text{ MPa}$ 。

2.1.2.2 试验结果及其分析 1) 中央气镇器喷嘴与槽底距离 $h = 400$ 与 500 mm 条件下的搅拌效果(表观搅拌距离)无明显差别,但 $h = 400 \text{ mm}$ 时,对低液位的搅拌效果比 $h = 500 \text{ mm}$ 的好。2) 排气孔径增大,压程中的漏气率随之增大,送压时间稍有增长,冲程周期减短。从漏气率和排气时间两方面综合考虑,以 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 为好。3) 在 $h = 400 \text{ mm}$ 、 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 最佳几何参数条件下,送气压力 p 和送压时间与 H 间的关系曲线示于图 5。一般说来, p 越高,搅拌效果越好,但从图 5 可见: $p = 0.08 \text{ MPa}$ 和 0.10 MPa 的搅拌效果虽较 $p = 0.06 \text{ MPa}$ 时好,然而,对低水位,当 $p = 0.10 \text{ MPa}$ 时, 1 s ,控制较难。4) $h = 400 \text{ mm}$ 、 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 、 $p_0 = 0.08$ 和 0.10 MPa 条件下的操作曲线示于图 6。

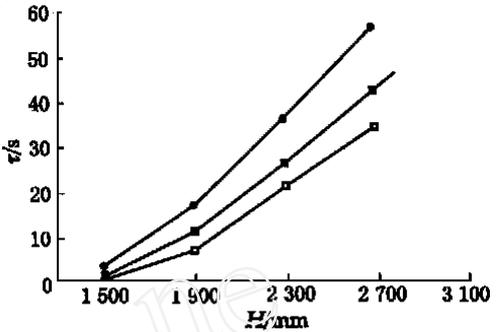


图 5 中央气镇器的送压时间与贮槽液面高度 H 间的关系曲线
Fig. 5 Time of pressure deliver of center ballast, vs fluid height of tank, H (p (MPa): —0.06; —0.08; —0.10)

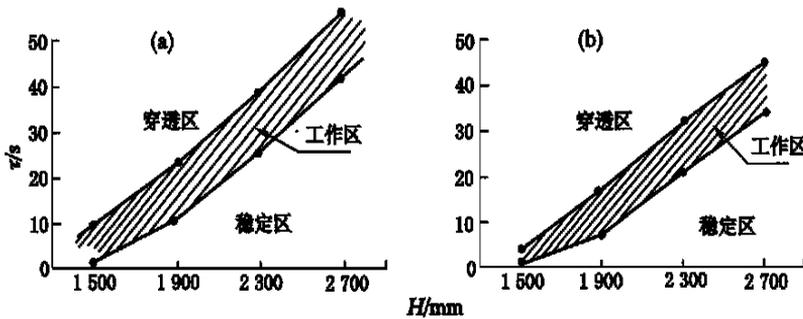


图 6 中央气镇器的操作曲线
Fig. 6 Operation curves of center ballast
(a) — $p = 0.08 \text{ MPa}$; (b) — $p = 0.10 \text{ MPa}$
几何参数: $h = 400 \text{ mm}$; $\phi = 3.5 \text{ mm}$

2.2 联动水试验

根据单体水试验结果,优选几组几何参数和操作参数(表 2),进行周边气镇器和中央气镇器水联动试验,以确定周边气镇器和中央气镇器间隔送气搅拌模式(模式 1)和周边气镇器和中央气镇器同时送气搅拌模式(模式 2)中哪种控制模式最佳。

试验结果表明:

- 1) 以模式 2 方式搅拌,固体颗粒被搅起的悬浮高度可达到贮槽液面最高点;
- 2) 以模式 2 方式搅拌时的悬浮液中固体颗粒体积百分率比模式 1 大,这使得固体颗粒的

沉降速度减缓,沉降时间变长;

3) 模式 2 的槽底表观搅拌范围大,周边气镇压器与中央气镇器之间几乎无死区。

由此可见:在相同条件下,模式 2 的搅拌效果优于模式 1。

表 2 联动水试验的几何参数和操作参数

Table 2 Parameters of size and operation in the linkage water test

序号	贮槽液位高度 H/mm	周边气镇器		压空罐最佳操作参数				中央气镇器操作参数	
		ϕ /mm	工作条件/mm	p_0 /MPa	V_0 /L	/s	T/min	p /MPa	/s
1	1 500	3.5	1 500 - L_e	0.15	100	30	20	0.06	5
				0.20	60	27	20	0.08	1
		2.5		0.15	85	20	20	0.06	3
				0.20	55	13	20	0.08	1
2	1 900	3.5	1 900 - L_e	0.15	200	36	25	0.08	16
				0.20	150	40	25	0.08	12
		2.5		0.15	170	46	25	0.08	10
				0.20	125	42	25	0.08	10
3	2 300	3.5	2 300 - L_e	0.25	160	49	30	0.08	26
				0.30	145	54	30	0.10	21
		2.5		0.25	150	54	25	0.08	25
				0.30	110	56	30	0.10	9
4	2 700	3.5	2 700 - L_e	0.30	189	47	30	0.08	43
				0.35	170	52	30	0.10	36
		2.5		0.30	150	59	30	0.08	37
				0.35	140	54	30	0.10	34

注:周边气镇器的其它几何参数分别为 $h = 400$ mm, $\alpha = 22^\circ$, $R = 80, 50$ mm;表中各参数以及参数的下角标“e”的含义同于表 1

2.3 单体模拟料液试验

2.3.1 周边气镇器

2.3.1.1 试验条件 取 $h = 500$ mm、 $\phi = 3.5$ mm、 $\alpha = 22^\circ$ 、气镇器中心与槽壁距离 $b = 300$ mm; $H = 1\ 500、1\ 900、2\ 300、2\ 700$ mm、 $p_0 = 0.20、0.25$ MPa。在上述条件下,测定周边气镇器的工作特性。

2.3.1.2 试验结果及其分析 试验结果列于表 3。

1) 比较表 1 和表 3 可以看出:在相同 p_0 情况下,与单体水试验相比,模拟料液下的 $V_0、p$ 比水时的 $V_0、p$ 大。这是因模拟料液的密度大于水的密度,从而增加了静压强阻力。2) 将模拟料液试验所获得的操作曲线与水试验所获得的操作曲线相比(图 7)可知:前者的操作曲线较后者的上移。所以,水试验的操作曲线可适用于模拟料液,而不会产生穿透现象。

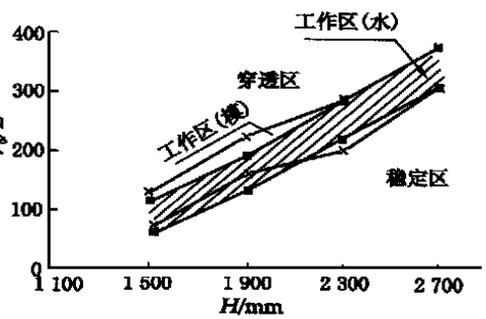


图 7 周边气镇器模拟料液试验与水试验的操作曲线比较

Fig. 7 Comparison of operation curves from simulative fluid and water tests for peripheral ballast

$p_0 = 0.2$ MPa

几何参数: $h = 500$ mm; $\phi = 3.5$ mm; $\alpha = 22^\circ$; $R = 80$ mm

表 3 模拟料液条件下周边气镇器的工作特性

Table 3 Working characteristics of peripheral ballast under the simulative fluid condition

序号	贮槽液位高度 H/mm	周边气镇器 工作条件/ mm	压空罐最佳操作参数		周边气镇器内工作特性		
			p_0/MPa	$V_{0,e}, V_{0,p}/\text{L}$	$e, p/\text{s}$	$T_e, T_p/\text{min}$	$p_{\max,e}, p_{\max,p}/\text{MPa}$
1	1 500	1 500 - L_e	0.15	96, 183	29,38	3.6, 4	0.03, 0.047
		~ 1 500 - L_p	0.20	69, 130	28,33	2.2, 4.8	0.03, 0.05
2	1 900	1 900 - L_e	0.15	205, 300	41,45	4.2, 4.8	0.06, 0.07
		~ 1 900 - L_p	0.20	165, 230	41,72	4.2, 4.7	0.07, 0.08
3	2 300	2 300 - L_e	0.20	205, 288	69,86	7, 6.2	0.11, 0.12
		~ 2 300 - L_p	0.25	154, 220	73,90	5.7, 6.4	0.12, 0.13
4	2 700	2 700 - L_e	0.20	315, 385	62,58	7.1, 6.2	0.14, 0.15
		~ 2 700 - L_p	0.25	235, 290	64,61	6.5, 6.3	0.16, 0.17

注:周边气镇器的其它几何参数分别为 $h=500\text{ mm}$, $\alpha=22^\circ$, $R=80, 50\text{ mm}$; 表中所列各参数及其下角标“e”和“p”的含义同于表 1

2.3.2 中央气镇器

2.3.2.1 试验条件 根据水试验结果, 选取中央气镇器喷嘴与槽底高 $h=500\text{ mm}$, $\phi=3.5, 4.5\text{ mm}$, 气镇器中心与槽壁间距离 $b=2\ 000\text{ mm}$; $p=0.06, 0.08, 0.10\text{ MPa}$; $H=1\ 500, 1\ 900, 2\ 300, 2\ 700\text{ mm}$ 。

2.3.2.2 试验结果及其分析 1) 与周边气镇器模拟料液单体试验结果相似, 在操作参数 p 相同条件下, 模拟料液下的 p_p 稍大于水试验下的 p_p 。这是因模拟料液的密度大于水的密度造成静压阻力所致。2) 模拟料液试验所得操作曲线比水试验操作曲线上移(图 8), 故水试验的操作曲线可适用于模拟料液, 不会出现穿透现象。最佳操作参数可从图 8 选取。

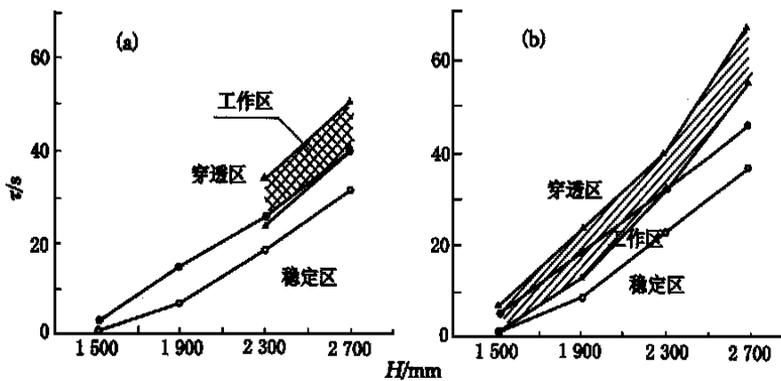


图 8 中央气镇器模拟料液试验与水试验的操作曲线比较

Fig. 8 Comparison of operation curves

from simulative fluid and water tests for the center ballast

(a) — $p=0.10\text{ MPa}$; (b) — $p=0.08\text{ MPa}$

几何参数: $h=500\text{ mm}$; $\phi=3.5\text{ mm}$

— 模拟料液, p_p ; — 模拟料液, e ; — 水试验, p_p ; — 水试验, e

2.4 模拟料液联动试验

联动试验时选取的周边气镇器和中央气镇器的几何参数为 $h = 500 \text{ mm}$; $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 。对周边气镇器, $p_0 = 0.2 \text{ MPa}$; 对中央气镇器, $p = 0.08, 0.10 \text{ MPa}$ 。周边气镇器和中央气镇器联动试验时, 按照气镇器单体试验条件, 以模式 2 联动。在中央气镇器和周气镇压器之间距槽底 500、1 500 mm 处取样, 测其固化。气镇器和升液循环器联动试验时, 周边气镇器和中央气镇器联动, 开启升液循环, 其供气量 $Q = 60 \text{ N} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。在周边气镇器和升液器及升液器和中央气镇器的中间相同位置和高度处取样, 测其固液比。

模拟料液联动试验的试验结果如下。

1) 不开启升液器、仅启动气镇器, 可以搅散槽底的沉积物、阻止贮槽底沉积区的形成和扩大位于沉积区之上的变浓度区的范围。

2) 升液器和气镇器同时开启, 加强了垂直方向上的循环搅动, 可使变浓度区缩小, 在其之上形成并扩大了等浓度区范围, 从而延缓了固体颗粒的沉降过程, 减轻了气镇器的搅拌负荷, 提高了搅拌效果。

3) 以上试验结果是在升液器的搅拌强度 $p = 0.3 \text{ MPa}$ 、 $Q = 60 \text{ N} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 条件下获得的。根据此条件下的试验结果分析, 在搅拌强度为 $p = 0.3 \text{ MPa}$ 、 $Q = 40 \text{ N} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 条件下, 能达到既阻止沉聚区形成, 又可减小变浓度区和扩大等浓度区的搅拌效果。

3 结论

1) 高放废液贮槽气镇器脉冲搅拌系统是较好、无活动部件、免维修的搅拌系统。在系统的周边气镇器和中央气镇器以及升液循环器同时启动运行的搅拌模式下, 可获得较为理想的搅拌效果, 将阻止贮槽底处出现沉积区。

2) 周边气镇器的最佳几何参数为 $\alpha = 22^\circ$ 、 $h = 400 \text{ mm}$ 、排气孔 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 。在此几何参数下, 周边气镇器的最佳操作参数为 $p_0 = 0.20 \text{ MPa}$ 和(或) 0.25 MPa ; V_0 依 p_0 和 H 而异, 当 $p_0 = 0.20 \text{ MPa}$ 时, 与 $H = 1\ 500, 1\ 900, 2\ 300, 2\ 700 \text{ mm}$ 相对应的 $V_0 = 60 \sim 135 \text{ L}, 140 \sim 213 \text{ L}, 234 \sim 310 \text{ L}, 302 \sim 372 \text{ L}$; 当 $p_0 = 0.25 \text{ MPa}$ 时, 与 $H = 2\ 300, 2\ 700 \text{ mm}$ 相对应的 $V_0 = 164 \sim 221 \text{ L}, 240 \sim 293 \text{ L}$ 。

3) 中央气镇器的最佳几何参数 $h = 400 \text{ mm}$ 、 $\phi = 3.5 \text{ mm}$ 。最佳送气压力 $p_0 = 0.10 \text{ MPa}$ 或 0.08 MPa 。当 $p = 0.10 \text{ MPa}$ 时, 对应 $H = 1\ 500, 1\ 900, 2\ 300, 2\ 700 \text{ mm}$ 的 $t = 0.8 \sim 4 \text{ s}, 7 \sim 17 \text{ s}, 21 \sim 32 \text{ s}, 34 \sim 45 \text{ s}$; $p = 0.08 \text{ MPa}$ 时, 则对应 H 的 t 分别为 $1.3 \sim 10 \text{ s}, 11 \sim 23 \text{ s}, 26 \sim 39 \text{ s}, 42 \sim 56 \text{ s}$ 。

4) 空气升液循环器投入运行可提高搅拌效果, 升液循环器搅拌强度不必太大, 供气流量可控制在 $40 \text{ m}^3/\text{h}$ 范围内。

5) 贮槽壁与底间过度角 $R = 80 \text{ mm}$ 比 50 mm 时的搅拌效果好。贮槽底部应避免有支架等构件物, 否则, 受其影响将出现搅拌死区。

Study on Pulse-mixing System With Ballasts in High-level Liquid Waste Storage Tank

WANG Shi-cheng¹, FAN Shu-ru¹, JIANG Chao-hui¹, DENG Guo-qing¹, CHEN Dun-xian¹,
LI Xiao-wei¹, DUAN Shi-hao¹, LIU Kun-xian², WEI Song-sheng², ZHANG Qun-tai²,
ZHAO Pei-qun², AN Jun², GUO Zhou-quan², SUN Bing², ZU Li-ping², SONG Jun²

(1. *Beijing Institute of Nuclear Engineering, Beijing 100840, China;*

2. *Lanzhou Nuclear Fuel Complex, Lanzhou 732850, China)*

Abstract : A liquid-liquid pulse effluent-flow method is developed for high-level liquid waste (HLLW) storage tank. Using water and simulative fluid as medium, the optimum technology parameters are established under different condition functions, such as size, operation, control, etc. The results indicate that the pulse effluent-flow ballast, used for mixing round the HLLW with indissolvable solid granules and preventing it from sediment and hardening, is a safe, reliable and free-maintained new device.

Key words : high-level liquid waste; ballast; pulse effluent-flow; mixing