

外置吹气杯测量折流板脉冲萃取柱柱重压降

王悦云¹, 李少伟², 景山^{2,*}

(1. 中国核电工程有限公司, 北京 100840;

2. 清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084)

摘要: 在内径为 0.3 m 和高度为 5.6 m 的折流板脉冲萃取柱中, 分别采用内置吹气杯和外置吹气杯对柱重压降信号进行了测量和比较。实验结果表明, 两种吹气杯安装方式所测量的结果一致。因此, 为了避免由于内置吹气杯所造成的钚纯化循环脉冲萃取柱异形下澄清段的设计和加工难度, 推荐可使用外置吹气杯来测量该工段的脉冲萃取柱柱重压降。

关键词: 外置吹气杯; 折流板脉冲萃取柱; 柱重压降

中图分类号: TQ028.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2013)12-2182-04

doi: 10.7538/yzk.2013.47.12.2182

Pressure Drop Measurement of Column Weight in Disc and Doughnut Pulsed Extraction Column by External Air Purge Method

WANG Yue-yun¹, LI Shao-wei², JING Shan^{2,*}

(1. China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100840, China;

2. Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The pressure drop of column weight was measured in a disc and doughnut pulsed extraction column with the inertial diameter of 0.3 m and height of 5.6 m by internal and external air purge methods, respectively. The experimental results show that the pressure drops of column weight measured by external air purge method are in good agreement with those by internal air purge method, therefore, the external air purge method is recommended to measure the pressure drop of column weight in the pulsed extraction column in plutonium purification cycle.

Key words: external air purge method; disc and doughnut pulsed extraction column; pressure drop of column weight

目前, 吹气法已成为国内核燃料后处理在线测量脉冲萃取柱水力学参数的首选技术^[1]。脉冲萃取柱柱重压降是其水力学性能的主要参数之一, 王健等^[2]和刘宇^[3]分别总结了吹气法

测量在我国乏燃料后处理中试厂中应用研究的初步情况, 景山、吴秋林、王悦云等分别研究了空气脉冲对吹气法测量萃取柱下澄清段压力的影响^[4]、吹气法在线测量标准喷嘴板脉冲萃取

收稿日期: 2012-08-31; 修回日期: 2013-03-20

作者简介: 王悦云(1978—), 男, 新疆乌鲁木齐人, 高级工程师, 博士, 核化工专业

* 通信作者: 景山, E-mail: s-jing@mail. tsinghua. edu. cn

柱脉冲振幅^[5]、吹气法测量折流板脉冲萃取柱的脉冲操作参数及存留分数^[6-7]。这些研究工作中吹气杯主要置于脉冲萃取柱下澄清段内部,称之为内置吹气杯。但在我国乏燃料后处理中试厂钚纯化循环脉冲萃取柱的下澄清段设计时,为了满足内置吹气杯安装和核临界安全的要求,将其设计成满足几何核临界安全的异形下澄清段,给其加工以及排污增加了难度。为此,本文提出将吹气杯安装到下澄清段的外部(即吹气杯外置的安装方式),在内径为0.3 m、高度为5.6 m的折流板脉冲萃取柱中采用单管吹气的方法测量柱重压降信号,并对其进行分析,对内置吹气杯和外置吹气杯测量的柱重压降结果进行比较,为外置吹气杯在工业上的应用提供依据。

1 实验设备

图1为实验装置示意图。脉冲柱由下部的不锈钢段与上部的玻璃段构成,脉冲腿从脉冲柱的不锈钢段分出,也是由不锈钢段和玻璃段构成,这两个玻璃段分别用来观测脉冲柱内和脉冲腿内的液面位置。折流板脉冲萃取柱的柱径 D 为0.3 m、板有效高度为5.0 m(不锈钢段高度为4.6 m,玻璃段高度为1.0 m)、板间距为0.072 m、开孔率为23%、板数为70,折流板安装方式详见文献[6]。实验时,主要通过调节

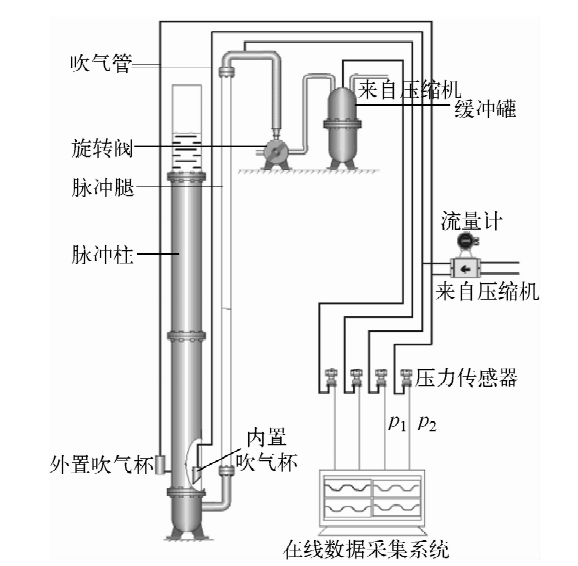


图1 实验装置
Fig.1 Experimental setup

气体旋转阀的转速来调节气体脉冲的频率和改变缓冲罐内压力来调节脉冲振幅 A 。

由图1可知:内置吹气杯和外置吹气杯均安装在折流板脉冲萃取柱的底部,对于内置吹气杯和吹气管道,所采用的吹气管道内径为0.004 m,吹气杯体积为50 mL,尺寸详见文献[4];外置吹气杯形状为圆柱体,其体积为50 mL,但与脉冲萃取柱相连接的是内径0.006 m和长度0.01 m的短管,所采用的吹气管道内径为0.004 m。这样,内置吹气杯和外置吹气杯所给出的压降信号 p_1 和 p_2 ,通过压差变送器、调理板和模拟信号采集卡,由工控机采集。同时在线数据采集系统还采集缓冲罐压力和脉冲腿压力。压差变送器选用上海光华CEC3052(0~200 kPa)系列绝压表直接测量得到各压力的时均绝压信号。

实验时,在不同脉冲频率和振幅下,于脉冲萃取柱上端玻璃段通过卡尺测量液面相对位置,从而确定不同脉冲振幅和频率下内、外置吹气杯所测量的真实液位高度所对应的压降 p_{H1} 和 p_{H2} 。

2 结果和讨论

2.1 内置和外置吹气杯压降特征

当脉冲频率 f 在1~2 Hz范围内变化时,不同脉冲振幅条件下所测量的内置和外置吹气杯的绝压信号如图2所示。

由图2可知:随缓冲罐压力的增加(脉冲振幅增大),内置和外置吹气杯所测量到的柱重压降基本上是恒定的,即内置和外置吹气杯的两种吹气测量系统的结果一致。从图中可看到:内置吹气杯测量的柱重压降略大于外置吹气杯所测量的值,这是由于内置吹气杯在脉冲萃取柱的位置略低于外置吹气杯所致。

2.2 测量误差分析

文献[7]的研究结果表明:当两相相对流速为零时,吹气法所测量的压降等于脉冲萃取柱中平均液位高度所产生的压降 p_H ,这是实验中直接测量的结果,而内置和外置吹气杯吹气法测量到的绝压分别为 p_1 和 p_2 ,因此,内置和外置吹气杯所测量的柱重压降相对误差为:

$$\delta p_1 = (p_1 - p_{H1}) / p_{H1}$$

$$\delta p_2 = (p_2 - p_{H2}) / p_{H2}$$

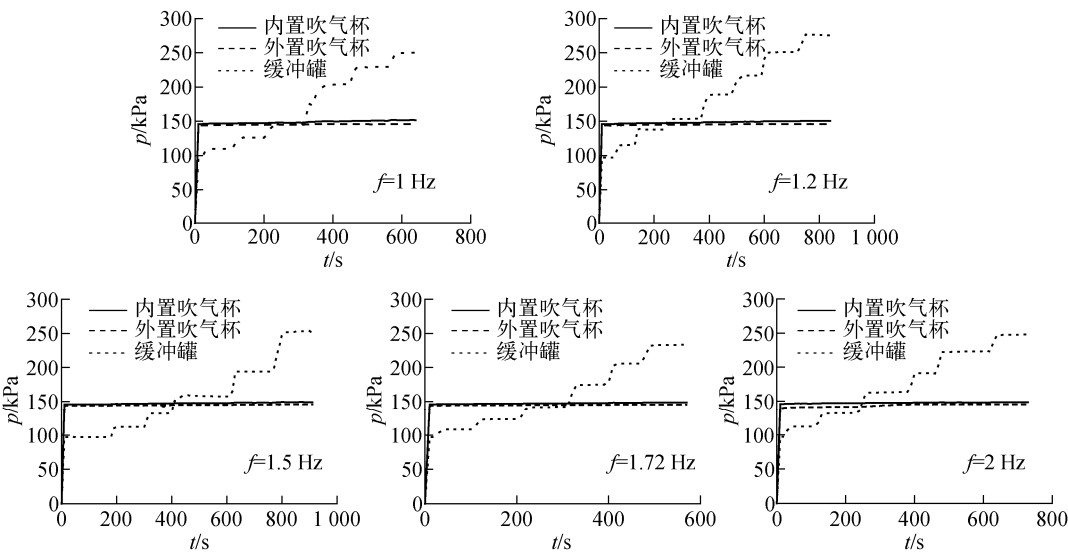


图 2 吹气杯装置测量结果与空气缓冲罐压力间的关系

Fig. 2 Relation between measured pressure drop of column weight and pressure of air buffer tank

内置和外置吹气杯所测量的柱重压降相对误差列于表 1。从表 1 可知:当脉冲频率 f 分别为 2、1.72、1.5 和 1.2 Hz 时,内置吹气杯所测量的柱重压降相对误差最大为 0.005,而外置吹气杯所测量的柱重相对误差一般小于内置吹气杯所测量的,且最大相对误差也仅超过 0.003。

当脉冲频率为 1 Hz 和脉冲振幅小于 42 mm 时,内置和外置吹气杯所测量的柱重压降规律与上述结论一致,但当脉冲振幅大于 42 mm 时,内置吹气杯所测量的柱重压降相对误差较外置吹气杯测量的高 1 个量级。同时内置吹气杯装置的吹气系统误差为正,而外置吹气杯的误差一般为负。造成上述现象的原因从图 1 可看出:实验所用的脉冲萃取柱无上下澄清段,而内置和外置吹气杯基本安装在脉冲腿附近,当脉冲振幅很大时,由于脉冲萃取柱内部局部形成的环流可能对测量造成的影响较大,与文献[4]中所观察到的现象一致。因此,在脉冲萃取柱设计时,吹气杯安装位置应尽量远离脉冲腿位置。

当脉冲频率为 1 Hz 时,脉冲萃取柱正常操作的脉冲振幅范围一般小于 40 mm,否则脉冲萃取柱会发生液泛,因此,从柱重压降测量误差分析可看出:外置吹气杯可满足乏燃料后处理厂中脉冲萃取柱柱重压降测量的要求。

表 1 内置吹气杯和外置吹气杯
测量柱重压降的相对误差

Table 1 Relative error on pressure drop of column weight measured by internal and external air purges					
f/Hz	A/mm	p_1/kPa	p_2/kPa	$10^3 \delta p_1$	$10^4 \delta p_2$
1	11.1	146.1	144	2.4	2.4
	13.9	146.5	144.2	1.4	1
	20.0	147.2	144.5	3.2	−8
	27.1	147.8	144.7	3.9	−28
	42.2	149.4	145	11	−45
	51.5	150.6	145	16	−68
1.2	4.6	145.9	143.9	0.75	1.4
	7.9	146.5	144.2	1.0	−3
	12.9	147.2	144.5	3.5	−5
	18.8	148	145	4.3	−7
	25.3	148.7	145.1	4.0	−31
	28.1	148.9	145.1	5.3	−31
1.5	2.6	145.9	143.8	−0.45	−4.6
	4.7	146.4	144.1	1.1	−2.2
	8.0	147.1	144.5	3.4	0.351 7
	11.0	147.7	144.9	3.5	−11
	16.9	148.4	145.1	5.0	−31
	1.72	1.4	145.8	143.7	0.73
1.72	2.7	146.2	144	0.3	−3
	4.5	146.7	144.3	0.7	−13
	6.4	147.2	144.5	1.9	−22
	7.9	147.5	144.7	3.1	−16
	9.5	147.8	144.9	4.6	−7
	2	4.5	146.6	144.3	0.35
2	6.1	147.1	144.4	4.0	−0.459
	7.5	147.5	144.6	4.9	−4.9
	9.2	147.8	144.8	5.6	−3.9

3 结论

1) 内置吹气杯与外置吹气杯所测量的折流板脉冲萃取柱柱重时均压降是一致的。

2) 在脉冲萃取柱正常操作范围内,外置吹气杯所测量的脉冲萃取柱柱重时均压降的相对误差小于内置吹气杯所测量的相对误差。

基于上述实验结论,在钪纯化循环的脉冲萃取柱下澄清段的柱重压降测量可采用外置吹气杯的设计,以减小由于内置吹气杯造成的异形下澄清段的加工和排污难度。

参考文献:

- [1] 袁世颐. 乏燃料后处理中试厂间接式和非接触式测量仪表的研究及应用[J]. 核科技进展, 2005, 3(3): 24-32.
 - [2] 王健, 张正斌, 李靖, 等. 中试工程脉冲萃取柱系统调试与改进[J]. 核科技进展, 2006, 4(3): 225-243.
 - [3] 刘宇. 吹气仪表在中试厂的应用[J]. 核科技进展, 2005, 3(3): 47-57.
 - [4] 景山, 吴秋林. 空气脉冲对吹气法测量萃取柱下澄清段压力的影响[J]. 原子能科学技术, 2008, 42(5): 408-415.
- JING Shan, WU Qiulin. Effect of air pulsation on the pressure measurement in bottom settler of pulsed extraction column by air purge method [J]. Atomic Energy Science and Technology,

2008, 42(5): 408-415(in Chinese).

- [5] 景山, 吴秋林, 王悦云. 标准喷嘴板脉冲萃取柱脉冲振幅的在线测量[J]. 原子能科学技术, 2008, 42(4): 292-295.
- JING Shan, WU Qiulin, WANG Yueyun. On-line measurement of pulsed amplitude for standard spray-sieve-plate pulsed extraction column [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2008, 42(4): 292-295(in Chinese).
- [6] 景山, 王悦云, 吴秋林. 吹气法在线测量折流板脉冲萃取柱脉冲操作参数[J]. 原子能科学技术, 2007, 41(6): 716-721.
- JING Shan, WANG Yueyun, WU Qiulin. On-line determination of pulsed parameters for pulsed extraction column with discs and doughnuts by air purge method [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2007, 41(6): 716-721 (in Chinese).
- [7] 王悦云, 景山, 吴伟, 等. $\phi 50$ 折流板脉冲萃取柱吹气法测量存留分数的研究[J]. 化工学报, 2005, 56(7): 1 253-1 259.
- WANG Yueyun, JING Shan, WU Wei, et al. Determination of holdup by air purge in 50 mm discs and doughnuts pulsed extraction column [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2005, 56(7): 1 253-1 259(in Chinese).