一种小型放射性废水蒸发装置除雾装置的设计

杨 庆[1]，王佑君[1]，侯立安[2]
(1. 第二炮兵工程学院，陕西 西安 710025；2.第二炮兵工程设计研究院，北京 100011)

摘 要：介绍了一种小型蒸发装置除雾装置的设计方法，结合放射性废水处理的设计理论和方法，自行设计了一种小型的放射性废水蒸发处理装置除雾装置，以解决负压蒸发操作处理废水时雾沫夹带问题。试验结果表明设计有除雾装置的蒸发器出水水质满足国家标准，有效的控制了蒸发过程中的雾沫夹带问题。

关键词：设计；除雾；蒸发装置；真空
中图分类号：TH122 文献标识码：A 文章编号：1002-6673（2007）06-070-03

0 引言

伴随着核能作为能源技术的利用和研究，放射性废水的处理一直是各国研究的热点。其中蒸发法由于具有净化系数高、浓缩倍数大、灵活性大等特点被广泛应用。放射性废水蒸发处理时，采用负压操作这有利于放射性污染的控制，即使设备元件出现密封失效的问题，也能确保放射性气、液体不会轻易向外泄漏问题；但负压操作较常压操作带来更多的雾沫夹带问题[1]，本文根据蒸发处理放射性技术原理，设计了一套小型化蒸发处理装置，并设置了除雾装置以期解决负压操作带来的雾沫夹带增加问题。

1 总体结构的设计

蒸发处理装置设计如图 1 所示。装置主要由真空蒸发器、冷凝器、换热器和辅助处理系统组成。对放射性废水的蒸发处理采用负压操作时，在蒸发过程中容易造成雾沫夹带问题，这极易造成装置出水水质下降，为提高净化效果，减少雾沫夹带，在蒸发器上端设置丝网净化器以除去蒸汽中夹带的放射性液滴。为了实现本装置的节能目的，在蒸发器出口设计了一个换热器，利用蒸汽的汽化潜热预热原始废液；冷凝器用来进一步冷凝经换热后的蒸汽。辅助系统包括液位仪、控制系统、管路设施、真空泵和流量计等。

其工艺流程是：原始废水经换热器预热后进入蒸发装置，经进一步加热后蒸发，水蒸气经过换热器换热后经过冷凝器冷凝成液态水；放射性物质等不被汽化而保留在溶液中，待浓缩到一定倍数以后将蒸残液转出进一步固化处理。

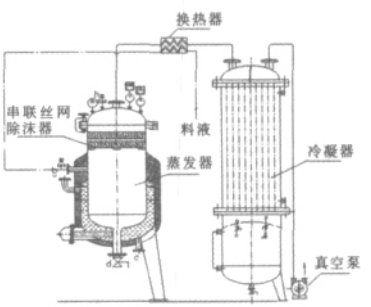

图 1 真空蒸发废水处理装置
Fig.1 Waste water treated by vacuum evaporator

2 丝网式除沫器基本原理[2~4]

负压操作便于放射性污染的控制，使设备运转更为安全。但与此同时，负压使蒸发出来的蒸汽增大雾沫夹带量，甚至当负压突然增大时，会发生“自蒸发”或瞬间蒸发现象，导致二次蒸汽雾沫夹带量剧增，仅仅考虑设置分离室是来不及完成汽液分离使净化效果降低，甚至在不当操作下可能会污染整个系统的严重后果；因此为了控制易挥发的放射性核素的挥发量，必须减少二次蒸汽的雾沫夹带量，设计相关的除雾装置是非常必要的。

在本装置中将采用丝网净化器。丝网净化器除雾基本原理可以归纳为以下几种：

（1）惯性碰撞：当气体和它所夹带的液滴通过丝网时，气体将选取阻力最小的通道流过，并且将顺着丝网结构改变方向，即流线发生偏折。因为液滴具有动量，所以较大液滴由于惯性作用仍然向前作直线运动，使位于气流中心或者接近气流中心处的液滴投向或撞击到丝网上而被分离出来。

（2）截留作用：不同直径的雾粒，随气流绕网丝圆

收稿日期：2007-10-07
作者简介：杨庆（1983-），安徽安庆人。第二炮兵工程学院在读硕士。研究方向：环境工程。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

柱体运动，当它与网丝圆柱体距离在雾粒半径值以内时，这些雾粒就会被截留。

(3) 布朗扩散：小于 0.3μm雾粒不再随着气体同一流线平滑绕网丝而过，而是作不规则运动随流线经过网丝，称为布朗运动。在较低的气流速度中，雾粒的上述不规则运动在与网丝圆柱体接触时被捕获。

(4) 重力沉降：气流垂直向上通过水平安装的丝网，气流中所含雾粒是否因重力而沉降取决于该雾粒自由落体速度与气流操作速度之差值。当自由落体速度大于气流操作速度时，该雾粒就悬浮有气流之中；当自由落体速度小于气流操作速度时，该雾粒就随气流带走。

(5) 气体吸收作用：雾粒直径接近分子大小时，就好似该液粒的气体被网丝表面吸附或被网丝表面已捕获的液滴层吸收。

当含雾沫夹带的气体通过密集的丝网时，受到以上几种诸作用时，微小雾粒捕集在丝网表面上，由于液体表面张力聚合和丝网网丝间毛细现象使微小雾粒在丝网表面聚集长大成为大颗粒的液滴；液滴因重力而下降，达到除雾效果。

3 蒸发器除雾装置的设计 [5,6]

真空蒸发操作使系统在运行过程中始终保持一定的真空度，即使出现管道密封不严等问题时也不会造成废水以及含有放射性核素的蒸汽的泄漏问题；因此废水在蒸发处理过程中将更加安全可靠。但伴随着负压操作将会带来泛液问题，蒸发的蒸汽中放射性核素将会增多，这使得蒸发冷凝水水质下降，极有可能造成冷凝水达不到排放标准，因此在蒸汽冷凝之前加装一套除沫系统非常必要。根据上文对各种除沫装置得介绍，根据本文设计的蒸发装置的特点，本装置中拟采用丝网净化器。

3.1 直径的设计

一般丝网除雾器选用的高效除雾丝网,其允许气流通过速率 μ需要根据试验测定,在此基础上合理选用除雾器丝网型式、规格,按试验得到的许用速率设计除雾器直径:

$$D=\sqrt{\frac{4V}{3.14\mu}} \quad (1)$$

式中：D—除雾器直径；V—需要处理的气体流量；μ—除雾器的允许气流通过流速。除雾器的允许气流通过流速 μ对于垂直安装的丝网结构取 $0.5u_{max}$，最大允许气速 u_{max} 可以通过下式计算：

$$u_{max}=K\sqrt{\frac{\rho_1-\rho_g}{\rho_g}} \quad (2)$$

式中：ρ—液相密度；ρ_g—气相密度；K—常数，一般取 0.107m/s。

3.2 丝网高度

丝网除雾器的高度需要根据所除雾滴直径、雾滴性质和允许压降来确定,一般为几十至几百毫米。

根据设计的蒸发器工作工况，设计的丝网除雾器的直径为 100mm，除雾器设两层丝网，下层为高效型，K_1=0.108，厚度为 50mm；上层为标准型，厚度为 50mm。

3.3 净化效率

由于无法获得真实核爆后的放射性物质污染水进行试验，因此我们采用通过向自来水中添加放射性元素的做法人工合成“放射性废水”，以此为原水进行试验，以检测设计有丝网除雾器的蒸发装置放射性废水净化处理效果。选择 ^{238}U、^{137}Cs、^{90}Sr 等放射性核素作为污染源配制污染水进行净化试验。

本试验对真空蒸发装置进行了两个周期的放射性废水蒸发处理试验，分别对真空蒸发装置原始废水、蒸发冷凝液、蒸残液的放射性活度进行检测，检测数据如表 1 所示。

通过表 1 我们不难计算出放射性废水经带有除沫装置的真空蒸发装置净化处理后所得到的净化系数及对应的出水水质，计算结果如表 2 所示。

实验结果表明，设计有丝网除雾装置的蒸发器第一周期出水中总 α为 0.71 Bq/L，总 β为 0.834Bq/L，对应的净化系数分别为 6.6×10^3 和 2.9×10^4；第二周期出水中

表 1 真空蒸发装置蒸发处理前后水的放射性活度

测试项目	总 α (Bq/L)	137Cs (Bq/L)	总 β (Bq/L)	铀 (mg/L)
原水放射性活度	4.68×10^3	6.79×10^3	2.39×10^4	43.6
第 1 周期出水放射性活度	0.71	0.34	0.834	未检出
第 1 周期蒸残液放射性活度	1.45×10^4	2.10×10^4	7.42×10^4	135.5
第 2 周期出水放射性活度	0.79	0.45	1.12	未检出
第 2 周期蒸残液放射性活度	2.45×10^4	3.54×10^4	1.25×10^5	228

表 2 真空蒸发装置各周期净化系数及对应出水放射性活度

测试项目	总 α (Bq/L)	137Cs (Bq/L)	总 β (Bq/L)	铀 (mg/L)
第 1 周期出水放射性活度	0.71	0.34	0.834	未检出
第 1 周期净化系数	6.6×10^3	2.0×10^4	2.9×10^4	∞
第 2 周期出水放射性活度	0.79	0.45	1.12	未检出
第 2 周期净化系数	5.9×10^3	1.5×10^4	2.1×10^4	∞

(下转第 73 页)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

减轻，节省材料效果明显；水泵运行的可靠性大大提高。

（2）采用等厚度的渐开线形及空心刀形叶片，并对导流部件的进行特殊设计等措施，使得传送的液体流动更通畅，水力性能好，效率高。

（3）由于导流筒的上、下两端都设计成收缩、弯折等加强强度、刚度的结构，且各导流部件通过所述收缩和弯折结构配合安装在一起，与现有的冲压泵相比，保证了导流部件具有足够的强度和刚度，提高了产品的可靠性，同时也延长了产品的使用寿命。

（4）叶轮进口处采用活动口环密封与迷宫密封组成的复合密封结构，不仅密封效果好，提高了泵的水力效率；而且降低了制造、安装难度，提高了生产效率及产品运行的可靠性。

（5）机械密封顶部的静环座成型为凸环形式，凸环的直径大于后盖中部螺孔的直径，从水泵的上部安装和拆卸机械密封，其装配及维护都大为方便。

2 总结

多级离心泵在系统中的运行工况，取决于泵的特性和系统的特性。多级泵的选型十分重要，因为多级离心泵的高效区相对比较窄，在选型中，首先要考虑系统的流量、阻力。在系统参数确定后，选择合适的多级离心泵产品。

系统中各种水力损失与液体流速平方成正比。系统管路中水力损失总和为：

$H_s=\Sigma h_i=\Sigma \xi\times(V^2/2g)=KQ^2$

K—系统阻力损失系数。如果多级离心泵产品的运行工况应存在如下关系，则能确保多级离心泵在高效率区间运行。

$0.95Q_O\leq Q_S\leq 1.05Q_O$

Q_S—多级离心泵的运行流量；Q_O—多级离心泵的设计流量。这就要求在系统设计选型中,首先要准确确定系统的流量和阻力,然后选择相应的水泵。这样才能保证水泵高效、可靠地运行。

参考文献：

[1] 关醒凡. 现代泵技术手册[M].北京:宇航出版社,1995.

[2] 沈阳水泵研究所.叶片泵设计手册[M].机械工业出版社, 1983.

[3] 梁跃,等.两相流矿用潜水泵的设计与应用[J]. 矿山机械, 1999,12.

[4] 刘元义.冲压焊接多级离心泵水力设计及成型工艺[D].上海理工大学博士论文,2004,5.

[5] 袁其寿,等.低比转速离心泵理论与设计[M].机械工业出版社,1997,5.

（上接第 71 页）

总 α为 0.79 Bq/L，总 β为 1.12Bq/L，对应的净化系数分别为 5.9×10^3 和 2.1×10^4；虽然随着浓缩倍数的增加出水水质中含放射性核素总量略有增加，但仍然满足国家废水排放标准，因此设计的丝网除雾器有效的抑制了蒸发过程中泛液问题。

4 结论

小型放射性废水蒸发装置的设计是结合蒸发浓缩放射性废水的设计理论和方法，设计蒸发装置在负压条件下对放射性废水进行蒸发处理以期达到安全目的，同时通过设计丝网除雾装置解决负压操作带来的雾沫夹带量剧增问题；设计的蒸发装置运行连续，结构紧凑，废水处理操作更加安全可靠。

参考文献：

[1] 姜圣阶,任凤仪,等.核燃料后处理工学[M].原子能出版社,1995, 12.

[2] 董德昌.丝网除雾技术原理[J].化学工程,1983, 2.

[3] 史永红.丝网气液分离器分离性能和压力损失分析[D].石油化工设备, 2006, 3.

[4] 龙静华.提高丝网除雾效率的探讨[J].有色冶炼,1998, 4.

[5] 李群生.新型高效丝网除雾器德原理与应用[J].明胶科学与技术, 2004, 2.

[6] 王宝华,张泽廷,李群生.新型高效丝网除雾器的研究与应用[J]. 现代化工, 2004, 5.

The Design of the Separator Utilized in the Small- scale Radioactive Liquid Evaporator

YANG Qing[1]，WANG You- Jun[1]，HOU Li- An[2]

(1. Second Artillery Engineering Institute, Xi'an Shaanxi 710025，China;

2.Engineering Design & Research Institute of the Second Artillery Corps，Beijing 100011，China)

Abstract: The paper mainly introduce the methods of designing of a small- scale evaporator mesh mist eliminator , and combining design theory and the method of radioactive wastewater processing, the radioactive wastewater that counted one kind of small- scale mesh mist eliminator in order to solve the negative pressure evaporates operation processing waste water. The test result indicates the design has the boiler of demister to appear above water the water quality satisfies the national standard, and the entrainment which active controlled to evaporate in the course is carried secretly the question.

Key words: design; eliminating mist; evaporator; vacuum

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net