

关于高放废液蒸发器的选型设计研究

常戈

(中核四〇四有限公司, 甘肃 嘉峪关 735100)

【摘要】本文以高放废液蒸发器为研究对象, 对比分析国内外常见的各种蒸发器, 研究各种蒸发器的特点与不同, 按照高放废液蒸发器使用条件推断高放废液蒸发器的设计要求, 以此为前提进行高放废液蒸发器选型设计。本文以保障高放废液蒸发器性能和安全为前提, 研究高放废液蒸发器选型设计思路, 旨在为国内工业系统的发展提供参考。

【关键词】高放废液; 高放废液蒸发器; 选型; 设计

前言

化工厂生产中蒸发处理高放废液属于很重要的步骤, 能够减少高放废液体积。不过因为高放废液有着比较复杂的放射性介质, 除了包含硝酸介质外还有各种放射性核素, 很多放射性核素的毒性均比较高, 所以输送、蒸发过程中需要采取各种手段保障环境与人员安全。高放废液蒸发器中处理的放射性废水构成包括放射性物质、碱、盐、硝酸以及水。蒸发期间气化的水顺着蒸发器排出, 没有被气化的各种放射性物质依旧保留在溶液, 因此能够获得浓缩溶液。二次蒸汽中依旧存在一定放射性, 合理选型与设计关系到放射液蒸发系统稳定地运行。

一、常见蒸发器类型

国内与国外所用的蒸发器存在一定区别, 国内化工厂处理高放废液的蒸发器设备主要为自然循环蒸发器, 按照形式可以分为立式蒸发器与卧管蒸发器两种类型。国外化工厂处理高放废液所用蒸发器主要为釜式蒸发器, 有着比较大的截面体积和较高的蒸发强度。除了两种常见的蒸发器以外还有强制循环蒸发器以及热泵蒸发器。

(一) 自然循环蒸发器

因为国内民用化工产业的厂房比较小, 所以处理废水的时候我国民用化工产业常用卧管蒸发器。卧管蒸发器的外壳形状为卧式圆筒。废液在卧式管道外部流动, 卧式管道内部流动的是蒸汽^[1]。卧管蒸发器有着比较大的卧式外壳直径与气液分离表面比值, 因此并不会产生很多的雾沫。相较于其他类型的蒸发器, 卧式直管蒸发器有着比较低的造价, 但性能不足以支持易起泡与易结垢废水、废液的处理。

立式蒸发器一经出现便得到了大力推广, 目前国内很多产业均在使用。立式蒸发器主体为圆筒, 靠加热管束与中央循环管组成加热室^[2]。使用立式蒸发

器的时候, 进入立式蒸发器的蒸汽在转化为冷凝液以后, 从立式蒸发器的下方排出。加热蒸汽时, 因为加热管中的液体有着比较小的相对密度, 所以中央循环管与加热管之间的液体会有密度差的出现, 致使中央循环管溶液密度下降, 溶液会在加热管中自然循环。越大的密度差有着越长的管子和循环速度^[3]。因为立式蒸发器有着比较大的蒸汽空间和中央循环管, 所以可以进行几十次的有组织循环, 令溶液获得极快的循环速度。不过立式蒸发器的高度问题比较严重, 没有比较长的加热管。立式蒸发器使用中为了隔离废水蒸发出现的二次蒸汽液滴, 一般会在蒸发室中设置单独的分离挡板。

立式中央循环管蒸发器操作可靠、制作方便有着紧凑的结构, 在我国工业系统中有着广泛的应用。不过立式中央循环管蒸发器存在结构限制, 所以没有很高效的循环能力, 不论是设备检修还是设备清洗均存在比较大的难度。立式中央循环管蒸发器的应用可以实现气泡物质废水的有效处理^[4]。在处理存在大量气泡物质废水时, 外加热自然循环蒸发器是比较合适的工具, 构成包括分离式与加热室。在进入加热室以后, 蒸汽能够沸腾气化液体。分离式能够分离二次蒸汽雾沫液滴, 防止放射性物质进入蒸发器内部, 影响蒸发器系统, 保障了蒸发器顺利净化。外加热自然循环蒸发器特点包括: ①有着较长的加热管且加热强度比较优秀, 能够有效提升设备加热处理效果。②分开设置分离室与加热室, 控制了蒸发器高度, 便于大多数厂房设置。不过自然循环蒸发器的性能不足以支持易结垢和粘度大的溶液^[5]。

(二) 釜式蒸发器

釜式蒸发器指将管束和蒸汽空间设计在同一壳体内用于蒸汽发生的一类换热器。壳程上部有较大的蒸发空间, 壳程的流体气化后进入上部空间, 然后从

上部出口管路流出。国外对于釜式蒸发器的应用比较多,凭借着结构简单的优势,能够实现简单批发蒸发^[6]。釜式蒸发器加热釜常在内部安装U型管或蒸汽盘管用于温度控制。釜式蒸发器优点包括:①蒸发效率高,釜式蒸发器的加热管束沉浸在液体中,液面高度可以保持稳定,从而提高蒸发效率。②结构简单,釜式蒸发器结构简单,设备投资少,运行费用低。③适用范围广,釜式蒸发器适用于黏度较大、易结晶、结垢的溶液,可以处理不挥发或难挥发的溶液。④操作灵活,釜式蒸发器可以采用间歇操作,也可以采用连续操作,操作灵活性大。凭借着如上的优点,釜式蒸发器成为受众广泛的蒸发器类型。

釜式蒸发器在多个领域都有应用,如废水处理、天然气处理、核能供热等。

(三) 强制循环蒸发器

强制循环蒸发器是一种利用外加动力使溶液循环流动的蒸发器,与自然循环蒸发器相比,特点是溶液在设备中循环速度较高,循环泵的流量大,扬程高。强制循环蒸发器适用于处理黏度大、易结晶或结垢的溶液,也可以处理不挥发或难挥发的溶液。强制循环蒸发器主要由加热器、蒸发室、循环泵、分离器、除沫器等组成。溶液在循环泵的作用下,在加热器中被加热,然后进入蒸发室进行蒸发,蒸发出来的蒸汽经分离器分离后进入冷凝器冷凝。循环泵的作用是使溶液在蒸发器中循环流动,以提高传热效率和蒸发效率。

强制循环蒸发器的优点为:①传热效率高:强制循环蒸发器的循环速度较高,可以提高传热效率,缩短蒸发时间。②适应性强:强制循环蒸发器可以处理黏度较大、易结晶或结垢的溶液,也可以处理不挥发或难挥发的溶液。③操作灵活:强制循环蒸发器可以采用间歇操作,也可以采用连续操作,操作灵活性大。④设备紧凑:强制循环蒸发器的设备紧凑,占地面积小,设备投资少。

强制循环蒸发器在多个领域都有应用,如化工、食品、制药等行业。

(四) 热泵蒸发器

热泵蒸发是指将蒸发器蒸出的二次蒸汽用压缩机压缩,提高其压力,使其饱和温度超过溶液的沸点,然后送回蒸发器的加热室作为加热蒸汽,此种方法称为热泵蒸发。采用热泵蒸发只需在蒸发器开工阶段供应加热蒸汽,当操作达到稳定后,不再需要加热蒸汽,只需提供使二次蒸汽升压所需要的功,因而节省了大量的生蒸汽。

热泵蒸发器的特点是蒸汽的潜热可得到反复利用。以工作原理划分,热泵蒸发器包括蒸汽喷射压缩

式与机械压缩式两种类型。MVR 热泵蒸发器是热泵蒸发器中的一种,机械蒸汽再压缩(MVR)热泵技术是一项绿色环保的节能技术,主要应用于溶液蒸发浓缩过程。该技术能够充分利用二次蒸汽的潜热,节能优势显著。

二、高放废液蒸发器选型设计需求分析

(一) 高放废液特征

高放废液蒸发器的选择需要以高放废液的特点作为参考依据,按照废液化学与物理特点确定蒸发器设计方向。不同废液有着不同的成分、浓度、粘度、比重以及沸点,各种参数均会影响蒸发器性能、维护与操作。故需要先分析与掌握高放废液特征再做高放废液蒸发器选型设计考虑。

(二) 蒸发技术

确定废液参数以及处理要求以后,应结合技术条件选择相匹配的蒸发技术。目前主流蒸发技术包括多效蒸发、热力蒸汽再压缩蒸发、机械蒸汽再压缩蒸发等技术。不同技术优缺点不同,应结合实际合理选择,才能最大化发挥技术优势。

(三) 设备材料

因高放废液的放射性与腐蚀性比较强,所以必须选择具有耐放射、耐腐蚀的蒸发器材料。目前比较常见的材料包括不锈钢、镍以及钛等。在选型设计中应充分考虑废液蒸发器的防泄漏和密封性问题。

(四) 能源效率

能源效率是影响选型的重要因素,必须选择性能出众的换热器实现热能损失的有效控制,最大化蒸汽利用率,控制运行成本与能耗。

(五) 安全环保

对于高放废液蒸发器而言环保与安全是重中之重,选型中需要充分考虑设备安防需要,做好放射性废弃处理方案的设计,减少废液排放处理对于环境的影响。以国家法律政策以及地方规定为前提,制定环保方案。

(六) 操作维护

选型设计高放废液蒸发器时,设备的易维护、易操作同样是重点考虑内容。设备维修保养、人机界面设计、自动化程度直接关系企业运营成本与设备运行效果。选型设计中必须充分考虑维护与操作需要。

(七) 经济性评估

经济性评估中维护费用与投资成本是重点考虑对象。选型时需要综合考虑设备维修费用、运行成本、初始投资,对比各种方案,选择性价比最高的设备。

(八) 行业标准和法规

选择高放废液蒸发器时需要以国家与行业法规、标准为标准。选型的时候留意国家与地区法规、标准,

确保所选设备型号能够通过有关部门审查与验收。

（九）抗腐蚀

因为多数高放废液均具有较强的腐蚀性，所以在选型设计高放废液蒸发器的时候，需要考虑设备的抗腐蚀能力。

三、高放废液蒸发器选型设计方法

（一）净化效果

在选型设计中，高放废液的蒸发过程除了需要控制玻璃固化处理高放废液体积外，还要确保冷凝液的复用性。因此蒸发器蒸发期间需要提高二次蒸汽经效果。根据二次蒸发放射性原理可知，放射性原因同雾沫夹带以及液面起泡有关。泡沫的消除与减少可以通过去除废液肼、TBP 的方式达到目标。在废液进入蒸发器之前，必须开展除肼、除油工作。操作中标准化的控制也能实现泡沫生成的抑制，只需要做好蒸发强度管控即可。雾沫夹带问题的处理中，需要对蒸发器合理设计，为二次蒸汽出口与沸腾液面留出充足空间，以免气流将较大液滴带走。操作中需做好蒸发速率的控制，尽可能减少蒸汽中的雾滴。国内某核设施的高放废液蒸发器在设计中，使用的是自然循环蒸发器，运行期间的暴沸问题导致尾气系统污染严重。在专家学者的研究中确定，尾气系统之所以被污染同蒸发器存在较大的蒸发强度有关。因为蒸发速率比较快，没有充足的分离空间，所以才会出现问题。为了应对上述问题，后续一些处理厂在蒸发器的选型设计中均采用釜式蒸发器。釜式蒸发器不仅有着更大的蒸发截面积，同时还有充足分离空间。将净化装置设置在蒸发器的顶部，能够将夹杂雾沫有效去除。目前可行的方法包括泡罩塔、金属丝网净化器。泡罩塔使用中，将高效填料填入到搭板即可。

（二）结构设计

当前的许多化工企业在传热装置的选择中，基于综合性考虑一般都会选择夹套，根据需求选择相应的夹套类型。目前最常用的夹套为螺旋半圆管夹套，这种夹套相较于普通夹套相比不仅有着更紧凑的结构，能够显著提高釜体承载力，实现设备费用的有效控制，同时还能控制能耗，保障传热效率。

所以在选择高放废液蒸发器的时候，应搭配使用螺旋半圆管夹套。半圆管夹套反应釜的夹套一般是由金属带料支撑装置、带料导入装置、半管滚压装置和半管输出托辊组成。其工作原理为：金属带料卷成卷放置在支撑装置的支撑面上，支撑面随着带钢的不断导入而绕中心轴转动，导入装置的作用是控制金属带料进入滚压装置的方向，始终垂直进入一级凹凸轮之间，半管滚压装置是半管的成型部分，主要由摆线减速机、多组齿轮传动及数组凹凸轮组件、箱体和移动

凸轮的组件等构成，主动齿轮及同轴的凹轮由电机带动以一定转速转动，经几个导向齿轮的传动，几个被动齿轮以及与其同轴的凹轮也以同样的转速向相同方向转动，从而带动相配的凸轮转动，随着凹凸轮的回转，半管在各组凹凸轮之间顺次弯曲并向前送进，经凹凸轮的逐级碾压金属带料逐渐成为半管的形式均速输出。

（三）安全操作

根据国外的高放废液蒸发器事故可知，之所以会有爆炸问题同蒸发器中的硝酸盐与有机物在高温条件下出现剧烈分解反应有关。因为压力过大所以发生了爆炸。所以为了保障高放废液蒸发器能够稳定的运行，需要采取可靠与安全的控制、检测办法处理问题。加热中使用 0.3MPa 饱和蒸汽，避免过高的温度令蒸发器爆炸。蒸汽管路启动阀门连锁与蒸发器温度的管理同样十分重要，需要在温度达到 110 摄氏度时连锁关闭，避免蒸汽继续加热，防止温度过高导致爆炸。另外应严格控制废液 TBP 的含量水平，做好内料液酸管理。

在设计中需要综合考虑，按照国内外经验选择合适的蒸发器材料，做好压力控制，避免二次蒸汽中夹杂过大的液滴与雾沫，优化设计控制升温过程，防止设备爆炸。

结语：在选型设计高放废液蒸发器的时候，必须按照设备输送废液特点结合废液输送要求和目的，选择合适的设备，以保障系统安全运行为前提，控制放射废液输送量。本次研究中介绍了比较常见的各种高放废液蒸发器特点，并按照高放废液蒸发器功能和需求分析了高放废液蒸发器的选型设计条件，以净化效果、结构设计与安全操作为考虑条件，构思蒸发器设计方式，旨在为我国的化工产业发展提供有力支持。

参考文献：

- [1] 黄祖程. 钴-60 高放废液处理装置研制及应用[J]. 科技资讯, 2023, 21(17): 94-97.
- [2] 崔皎, 边伟, 宋秉阳等. 高放废液的流体输送设备选型研究[J]. 广东化工, 2022, 49(09): 180-183.
- [3] 刘立坡, 李筱珍, 靳立强等. 高水平放射性废物处理处置标准分析[J]. 辐射防护, 2021, 41(06): 496-502.
- [4] 我国实现高放废液处理能力零的突破[J]. 河南科技, 2021, 40(30): 3.
- [5] 王泽学, 李宝军, 李玉松等. 高放废液冷坩埚玻璃固化自适应负压调节系统的设计[J]. 原子能科学技术, 2022, 56(12): 2607-2615.

作者简介：常戈（1978.03-），男，河南洛阳人，本科，工程师，研究方向：核化工。