

低沸点有机化合物气体冷凝回收的设计及应用

王定军

华中药业股份有限公司 湖北襄阳 441021

摘要: 为解决医药化工领域生产、装卸、输送过程中产生的高浓度低沸点的有机化合物气体的冷凝回收, 自主开发设计了一套冷凝回收装置, 通过过程控制, 有效地将低沸点难回收的有机气体经冷凝回收, 微量有机气体尾气经吸收达标排放, 解决了低沸点有机化合物气体难回收, 回收成本高和环境污染的问题, 低沸点有机化合物气体回收率可达98%, 为医药化工领域低沸点有机化合物气体的处理提供参考。

关键词: 低沸点; 有机气体; 冷凝; 回收; 吸收; 达标排放; 环境污染

Design and Application on Condensation Recovery of Low-boiling-point Organic Compounds' Gas

Dingjun Wang

Huazhong Pharmaceutical.Co.Ltd., Hubei Xiangyang 441021, China

Abstract: To address the condensation and recovery of high-concentration, low-boiling-point organic compound gases generated during the production, loading, and transportation processes in the pharmaceutical and chemical industries, we have independently developed and designed a condensation recovery system. Through process control, we effectively condense and recover hard-to-recycle organic gases with low boiling points, while minimal residual organic gas emissions meet regulatory standards. This solution addresses the challenges of recovering low-boiling-point organic compound gases, high recovery costs, and environmental pollution. The recovery rate for low-boiling-point organic compound gases can reach 98%, providing a reference for the treatment of these gases in the pharmaceutical and chemical industries.

Keywords: Low Boiling Point; Organic Gases; Condensation; Recycle; Absorb; Standard Discharge; Environmental Pollution

在现代工业化医药化工领域, 企业生产和使用低沸点有机化合物非常常见, 如甲醇、甲酸甲酯、苯、二硫化碳、乙醚、丙酮等。该类有机化合物沸点相对较低, 常温下极易挥发, 在生产、装卸、输送中大量产生高浓度的有机气体, 不仅造成大量成本损失, 更重要的是带来的环境污染和设备设施腐蚀问题, 这类有机化合物挥发出来的气体有的存在刺激难闻的味道, 有的会对操作人员带来健康损害甚至生命危险, 有的还会引发安全事故, 概括来说, 高浓度低沸点有机化合物气体存在有毒有害易燃易爆等特性, 不能随意排放或散发至空气中, 必须根据其理化性质采取规范科学的措施进行处理, 如冷凝、回收、吸收和套用等, 使其排放到空气中的浓度越低越

好, 不仅消除其对环境造成危害和对企业产生不良影响的风险, 而且经过回收利用还可达到节约原材料, 降低生产成本的目的, 从而为企业在激烈的市场竞争中赢得优势。笔者根据化工原理和化工物料的理化性质及多年的实践经验, 对低沸点易挥发有机化合物的气体的处理进行多种方式的有益尝试, 取得了较好的效果, 希望能给化工生产和环保治理领域方面提供借鉴或参考。

一、设计说明

通过检索文献和实际应用来看, 业内处理这类低沸点的有机化合物气体主要是通过冷凝、吸收、膜过滤或吸附等常规的单个或联合过程, 虽然处理后挥发在空气中的有机气体浓度能够达到国家排放标准, 但实际综合效益和效果却不甚理想, 原因在于一方面冷凝回收环节效果不好时, 为了满足达标排放的要求, 往往采用大量吸收剂吸收, 产生了大量的废水或废液需要处理, 增加

作者简介: 王定军 (1971-), 男, 湖北襄阳人, 工程师, 从事化学原料药生产管理。

了大量废水处理成本；另一方面为了减少低沸点有机化合物的挥发，在生产使用或存储时采用了冷冻降温，这样挥发出来的有机气体本身温度很低，低于常温或室温，为保证能够使有机化合物气体尽量多的被冷凝下来，采用零下20-50℃的超低温盐水，尽管采用多级串并联方式增加换热面积和冷凝行程，受制于空间和设备自身的不足，结果花费了高昂设备设施投资和动力成本，冷凝回收效果并不好，有机气体大部分没有冷凝成液体，冷凝量很少，甚至冷凝的液体再次挥发。企业为了减少环保监管的压力，除了增加吸收外，还会在吸收后增加膜吸收或利用光氧化处理（见如下处理过程图1），只有这样才能满足排放要求，减少企业周边可能带来的环保投诉，消除环保风险的影响。

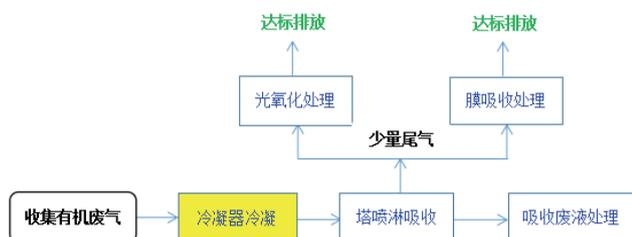


图1 有机气体的一般处理过程

本研究另辟蹊径，重点是如何改变有机化合物在冷凝环节的冷凝效果方面做文章（见图1），主要是探索利用一种常规冷媒（-10~0℃的盐水），即可实现低沸点有机气体的冷凝回收的方法，把回收的效果做到最大或极致，就会大大降低后续环节吸收的有机气体的量，达到增加冷凝回收量而减少吸收处理量的效果。具体思路和步骤如下：

1. 提升低沸点有机气体的基础温度

想要使有机气体冷凝液化，根据化工过程及原理，必须满足的重要条件是有机气体液化前后的温差，如果有机气体的本身温度很低，冷凝器间壁一侧的冷媒必须有足够低的温度来满足其冷凝液化的温差；反之，有机气体的温度较高，冷凝器间壁一侧的冷媒的温度只要满足冷凝温差要求即可使有机气体冷凝液化，故可采用对有机气体进行预加热提升低沸点有机化合物气体的自身温度，达到有机化合物沸点的温度以上即可，相当于有机化合物液体沸腾后蒸发出来的气体，使有机气体能在常规冷媒作用下冷凝为液态，而不需要花费很高成本将冷媒降至超低温状态，这样不仅可以节约大量的动力成本，也可以是有机气体大量冷凝回收变得容易，提高了回收率。

2. 采用新型冷凝设备缠绕式换热器

随着现代科技的发展，化工领域开始应用一种新型换热器，缠绕式换热器，该设备与传统的列管式换热器

相比，不仅传热行程和换热面积大大增加，而且间壁材质和壁厚都做了最有利于传导的改进（见下图2），根据传热原理，不难理解新型缠绕式冷凝器传热效率和换热效果非常的好，这样经过加热，低沸点有机化合物的气体就有充分的冷凝时间和空间，只要冷凝器间壁两侧满足冷凝温差的要求，有机气体便很容易冷凝成液体而回收回来。

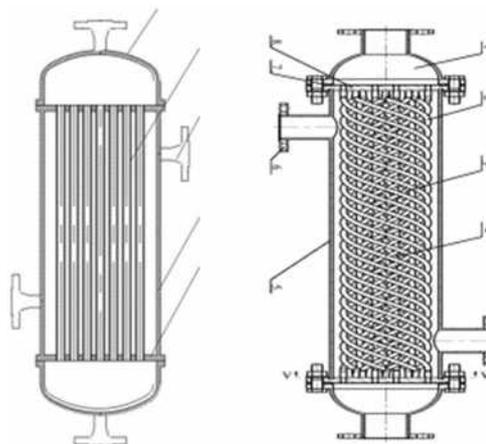


图2 列管式冷凝器和缠绕式冷凝器示意图

3. 采取及时分离的设计减少冷凝液的挥发

前1.是根据有机化合物的性质创造条件使低沸点有机化合物气体能够在常规冷凝条件就可冷凝成相应的化合物液体，2.步则是为使低沸点有机化合物气体充分冷凝创造高效极致的冷凝环境，达到最佳的冷凝效果，但冷凝后的有机化合物液体在气流的作用下，液体表面蒸汽压变低，由于有机化合物液体沸点较低很容易再次蒸发或挥发成气体，为避免冷凝液体的再次蒸发，本设计考虑将各个冷凝器冷凝的液体顺着重力和气流的方向及时收集到容器储存并与气流分开，或冷藏储存，这样使冷凝液体得到了保存，前端微量的液体会再次挥发至系统，由于设有多级冷凝，冷凝行程长，挥发的有机气体会被再次冷凝，这样使低沸点有机化合物的气体经过多次冷凝而得到充分的冷凝回收，末端少量“逃逸”出去的有机气体被设置在后续的吸收装置再次吸收（见图3）。这样经过对低沸点有机化合物进行最大程度和最优化的冷凝，绝大部分低沸点有机化合物气体被冷凝。整个设计图示如下：低沸点有机气

本设计装置适用于化工生产中化学反应产生挥发性有机气体、压滤过程中排放的有机气体、大量化合物输送和装卸连续排空形成的有机气体，在常温下化合物呈液态，沸点低，极易挥发，有机气体自身温度低，难以冷凝，这类化合物典型代表如低分子烷烃、甲醇、甲酸甲酯、丙酮和乙醚类等。在预热处理时，一般选用蒸汽

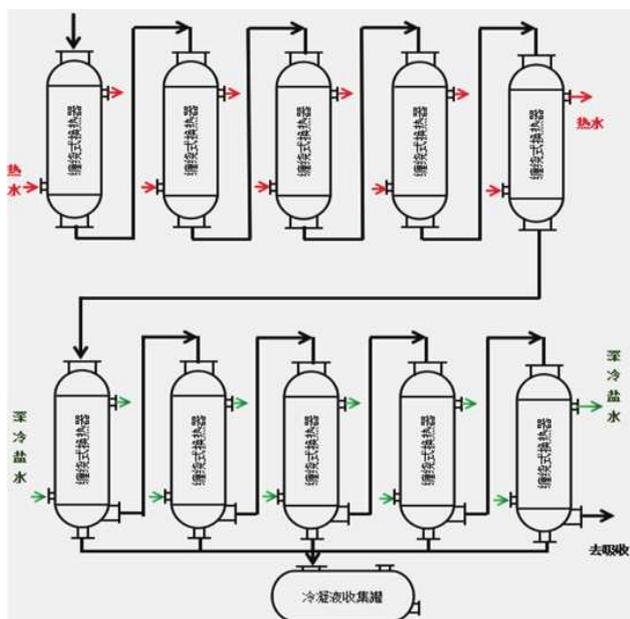


图3 低沸点有机气体冷凝回收装置设计图

冷凝液就足够了，而不需要新增额外的能耗，根据需要选择适宜温度的热水进行温和加热，加热至该有机物沸点以上即可，要充分考虑因有机气体中可能混有空气而使有机气体安全系数降低，换热设备、管道阀门及相关附件要充分接地，避免高速气流摩擦产生静电等安全因素。使用该装置时要根据具体冷凝回收的有机气体的理化性质、浓度和流速等因素，通过增减换热器的用量选择适宜的冷凝行程或换热面积，冷媒选择零下5℃至零下10℃的任一区间，避免了使用大功率的制冷系统，降低运行成本，以使冷凝回收效果达到最佳经济效益和社会效益。

二、应用实例

本应用针对生产过程中压滤单元操作过程中产生大量高浓度甲醇有机气体为例研究探索冷凝回收效果。

某车间某工段生产的固态中间体，无水甲醇为液相，进行固液分离，形成半干的固态中间体，在固液分离的实践中曾采用三足式离心机，封闭式离心机，压滤罐和全自动封闭式自动卸料机，随着国家环保政策和监管越来越严，压滤卸料过程中会产生大量的甲醇气体始终无法回收，通过加强排风或空气流通解决现场的作业环境，但域内域外在线监测都无法通过监管，曾采用表冷器和深冷盐水进行冷凝回收，收效甚微，为了保证达标排放，采用三级吸收的办法，这样不仅产生大量废水，而且甲醇损耗也很大，为此本研究开始尝试采用新冷凝回收办法解决了这一难题。

甲醇，常温下为无色透明液体，沸点64℃，易挥发，易形成爆炸性混合气体，工序中使用的甲醇采用10℃以下的低温甲醇，挥发的有机气体温度自然也低，

采用常规冷凝方式几乎收不到甲醇，本设计根据甲醇的基础温度和物理特性，将岗位上所有排放的甲醇气体通过收集利用管道汇集到一20m³大的不锈钢罐体中，然后集中用一根DN200mm的不锈钢管线与换热器相连，利用岗位大量蒸汽冷凝水，平均温度在80℃左右，利用蒸汽冷凝水的余热来加热冷的甲醇气体，根据气体的可控流量和流速，采用了五套缠绕式换热器，换热面积达200平方米，加热总行程可达40m，待甲醇气体温度达到甲醇沸点左右，流入由同样方式相连的缠绕式冷凝器，采用零下5℃的冷冻盐水作为冷媒，经过各个冷凝器后的热甲醇气体很容易被冷凝成液体，在重力的作用下流入管道被收集在储罐中，避开了气流，避免了再次蒸发或挥发，经过此装置加热和冷凝，有机气体90%以上被冷凝回收回来了，为了达标排放，将微量未被完全冷凝的有机气体采用吸收塔进行再吸收，最后排出的尾气经检测远远低于国家排放标准。

冷凝回收的效果可通过有机气体VOC检测仪器进行间歇检测或连续在线监测，以确认装置冷凝回收的回收率，从排口连续监测的数据分析可以看出回收率可达98%，工序每天有机化合物液体回收量由原来“见不到”到100-120公斤，整个现场作业环境大为改观，VOCs监测显示为零或不超过10PPM，取得了非常好的治理效果。

三、结束语

本设计与应用为低沸点有机化合物气体的冷凝回收提供了新思路，回收率可达98%，环保检测达标排放，吸收废水量大大降低，为废水处理减轻了负担，冷凝回收的有机化合物可进一步处理套用，节约了原材料成本，冷媒无须降低到零下20℃以下，节省了动力成本，具有很好的社会效益和经济效益。具体到每种化合物结合生产现场的实际需要做计算和优化实验，以确认加热温度，加热面积和行程，冷媒还需考虑能够提供零下多少度的冷冻盐水，随着温度越低，动力成本会呈几何倍数增加，这是非常不经济的；在排放气体时要控制流速，使有机气体得到充分冷凝，对有机气体收集尽可能减少空气的进入，不仅要考虑成本和冷凝回收效果，而且必须考虑可操作性和安全因素。

参考文献：

- [1]喻子行主编的《制药化工过程及设备》中国医药科技出版社，1991：152-153.
- [2]王守业，韩强，金虎.螺旋螺纹冷凝器在医药中间体的应用[J].医药工程设计，2010，2：4-6
- [3]程伟.一种新型螺旋螺纹管式换热器的应用[J].《化工科技市场》年/卷/期：2009，032（007）-33 ~ 34