

制药装备

文章编号: 1001-8255(2000)01-0034-04

自吸式气液反应器的设计与应用

何志敏, 李可求

(上海医药工业研究院, 上海 200040)

摘要: 自吸式气液反应器是一种不用气体输送机械而能自行吸入外界气体进行气液接触的反应装置, 通过特殊设计的空心涡轮搅拌器在进行料液混合的同时不断吸入外界的气体, 达到气液反应的目的。本文介绍了该反应器的原理、结构、设计和成功地应用于化学制药、染料、食品油脂等工业的氢化、胺化、氟化、烷基化等生产过程的实例。

关键词: 自吸式; 空心涡轮搅拌器; 反应器; 设计

中图分类号: TQ052.5 **文献标识码:** A

工业生产中气液接触反应装置的构型一般有釜式和塔式两大类。常用的釜式反应器的气流均由压缩机或其它气体输送机械供应, 在一定的容器内以机械搅拌进行料液混合与气体分散, 达到反应的目的。这种方式供应的气流均需要专门的机械设备以及相应的安装场地、辅助设施、动力消耗和维护管理, 有的还存在着材料腐蚀问题。因此, 不用气体输送机械而以反应器的机械搅拌在运转过程中直接引入气体的气液接触设备开始受到人们的重视。有关这类反应器的研究开发工作, 大都是出于各自的应用目的, 如为了解决腐蚀问题的氯化反应器、为了解决气体分散问题的酸化器、为了解决替代空压机问题的深层发酵罐等, 多数都是专利技术, 曾有评述介绍。

我们在本院已有自吸式发酵罐研究开发的基础上, 进一步将这种构型的反应器推广应用于其它化学反应过程, 针对氢化、氧化、烷基化、氟化、胺化等不同反应性质的生产要求, 设计了多种最高工作压力为 1.6 MPa 最高操作温度为 210°C 最大容积以 m^3 计的自吸式反应器, 在国内 20 余家工厂投入生产。本文着重介绍自吸式反应器的设计和应用情况。

1 原理

自吸式反应器的主要部件为三棱形空心涡轮搅拌器, 在容器中它将反应料液以一定速度混合时, 促使液流激烈湍动, 使搅拌器叶轮周围的动能增加而位能减少, 从而使叶轮周围高动能的液体压力低于

叶轮中心低动能的液体压力, 形成空位状态, 通过与搅拌器空心涡轮联接的导管吸入外界气体, 由空心涡轮的背侧开口不断排出, 在涡轮叶片的末端附近以最大的周边速度被液流粉碎, 分散成为细小气泡, 并与料液充分混合, 径向流动至器壁附近, 再经挡板折流, 涌向液面, 在反应器内形成均匀的气液混合系统, 实现气液接触, 达到反应要求。

这种自吸式搅拌器吸气能力的大小, 取决于结构型式、安装方式、搅拌转速和料液性质等多种因素。如搅拌器叶轮与反应器直径比愈大、搅拌转速愈高、液柱高度愈低、料液比重愈大、气体的比重愈小, 则吸气量愈大、吸程高度愈高。但在化学反应过程中, 如料液温度达到沸点而其饱和蒸汽压接近大气压时, 如气源为常压, 则不能吸气。

2 构型

自吸式反应器由容器、搅拌器、传动部件、传热部件和控制部件所组成。一般的容器均为受压容器, 对于污水处理的氧化反应, 可为敞口的矩形槽。图 1 为一般结构的示意。容器由立式圆筒 6 底盖封头 1 15 和法兰 7 组成, 具有作为换热部件的夹套 5; 自吸式搅拌系统由三棱形空心涡轮搅拌器 2 吸气口 14 搅拌轴 3 吸气套管 8 轴封 13 联轴器 12 折流挡板 4 等所组成。传动部分包括电动机 11 与减速装置 10 等必要组件。控制系统按反应性质、操作条件和计量要求设计。针对一定的操作压力还附设包括安全阀、爆破膜在内的安全防护装置。

3 设计

3.1 主要几何尺寸的确定

3.1.1 容器

立式圆筒:

收稿日期: 1999-05-19

作者简介: 何志敏 (1953), 男, 制药装备研究室主任, 高级工程师。从事制药装备、压力容器的设计研究。

Tel: 021-62477819

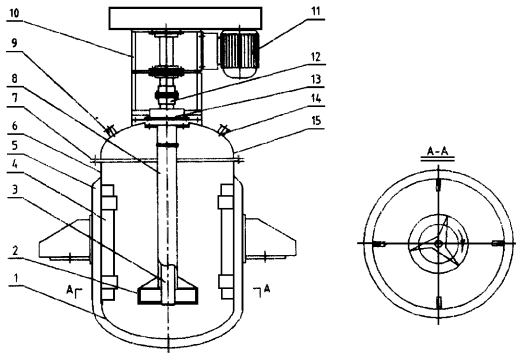


图 1 自吸式气液反应器结构示意图

高径比 $H_T/D_T=2\sim 2.5$
液柱高度与直径比 $H_L/D_T=1\sim 1.5$

封头: 椭圆形

筒体、夹套壁厚分别按 GB150-89 内外压圆筒、内压圆筒设计计算。

3.1.2 搅拌器

涡轮外径 $D_T= D_i/3$,
涡轮高度 $h= D_i/4$,
涡轮与反应器底距离 $y= D_i$,
吸气口直径 $H= 3D_i/8$

3.1.3 挡板宽度 $B= D_T/10$

3.2 搅拌功率

3.2.1 不吸气时搅拌功率

按下式计算:

$$P_0= kn^3D_i^5d \tag{1}$$

式中: P_0 -不吸气时的搅拌功率, $\text{kg}^\circ\text{m/s}$
 k -叶轮搅拌功率常数
 n -搅拌转速, $1/\text{s}$
 D_i -涡轮外径, m
 d -液体重度, $\text{kg}^\circ\text{s}^2/\text{m}^4$

3.2.2 吸气时搅拌功率

按下式计算:

$$P_s= P_0e^{-25.6V_s} \tag{2}$$

式中: P_s -搅拌吸气时的搅拌功率, $\text{kg}^\circ\text{m/s}$
 V_s -反应器内气体线速度, m/s

3.2.3 配套电动机功率——以吸气功率为基准,按传动机械效率 $\eta= 0.85$ 计算

3.3 气液比

3.3.1 吸气量

当 $H_L/D_T\geq 1.5$ 时,搅拌器克服重力加速度后的吸气量为:

$$q= 0.0628nD_i^3 \tag{3}$$

式中 q -吸气量, m^3/s
 n -搅拌转速, $1/\text{s}$
 D_i -涡轮直径, m

3.3.2 气体线速度

$$V_s= \frac{q}{0.785\times D_T^2}\times \frac{273+t}{273} \times \frac{1}{1+ P\times 1.01\times 10^{-5}+ \frac{H_L}{2\times 10.34}} \tag{4}$$

式中 t -反应温度, $^\circ\text{C}$
 P -反应器工作压力, Pa
 H_L -液柱高度, m

3.4 材料

3.4.1 筒体

根据化学反应的类型、物料腐蚀特性、操作温度和反应产品洁净度的要求选取,例如:一般氢化反应器可以选择低碳合金钢,而对食品级产品则以 1Cr18Ni9Ti 或对应的不锈钢材料为宜。对于氯化反应,如在反应温度下的材料腐蚀试验结果允许,可选用 0Cr12Ni12Mo2Ti,或对应的钛钼合金材料;在金属材料不能满足的情况下,亦可采用搪玻璃釜,但允许操作压力为 $\leq 0.25\text{ MPa}$,并需对气体进口接管等进行特殊的结构设计。

3.4.2 法兰

法兰材料一般均取器壁同样的材料。鉴于设计压力 $\geq 1.0\text{ MPa}$ 反应器的法兰结构具有相当的厚度,对于不锈钢等昂贵材料的筒体法兰,可选用相应的衬环结构。

3.4.3 搅拌器系统

空心涡轮搅拌器为金属焊接构件,本设计所选用的材料一般均与器身相同。对于强腐蚀的场合,亦可考虑采用纯钛材。搅拌轴亦可选用管材。其它的密封部件可以选用合适的耐磨非金属材料。

3.4.4 夹套

选用碳素钢沸腾钢板或镇静钢板。

4 应用

4.1 应用实例

该反应器自从推广应用以来,已先后为国内化学制药、油脂食品、染料、化肥、氯碱等工厂设计制造了容积为 120、500、600 以至 2000 L,最高工作压力为 1.6 MPa 的多种用途的气液反应器^[1]。表 1 列举了部分不同类型的应用情况。

这些企业采用自吸式反应器的目的主要有以下几种类型:

4.1.1 规模放大

制药生产的中间体制备过程中氟化、氢化等反应设备,在小试验完成以后进入规模化生产阶段,经常遇到难以解决的设备放大问题,其中涉及到高压釜的氢化反应尤为严重。如某药厂中间体生产过程的高压加氢反应,一直沿用摇床压力釜方式进行生产,批量很小,效率不高,难以放大。经设计 500 L

表 1 自吸式气液反应器的应用举例

料液	反应过程	工作容积 (L)	工作压力 (M Pa)
药物中间体	烷基化	500	0.1
植物油	氢化	2000	1.2
助剂中间体	氢化	120, 500	1.4
化肥中间体	氢化	500	1.3
咖啡因中间体	氢化	500	1.4
染料中间体	胺化	600	1.2
某化工原料	氢化	200	1.3
抗组胺药中间体	氢化	500	1.4
杀虫剂中间体	氟化	1000	1.0

的自吸式氢化反应器,缩短了反应时间,简化了现场操作,迅速投入生产,取得明显效果

4.1.2 设备革新

某一解热镇痛药的中间体的产量较大,其烷基化过程原来采用连续逆流反应塔进行操作,原料自塔顶送入,在熔融状态下自上而下流动,与由塔底通入的甲胺气体实现气液接触,尾气由顶部排出,而产物则由塔底排出。由于料液流动状态较差,气液接触不良,温度分布不均,反应效率不高,控制维护不易。经过设备革新,改为自吸式反应器,采用三级阶梯式串联的设备流程,物料投入最高一级的反应器,新鲜的甲胺气体由最底一级反应器不断吸入,实现了气液逆流接触过程,简化了气体输送设备,保证了物料的均匀混合,稳定了温控要求,反应彻底,收率提高。

4.1.3 产品开发

通过植物油加氢以生产硬化油作为工业原料已有多年经验,而以植物油选择加氢制造食用的人造奶油,无论工艺还是设备的开发仍在不断发展之中,其关键因素之一,是要针对不同的原料如菜籽油,控制加氢的终点,达到适度的碘值,以维持产品的融点和品味。厂方曾经采用一般的高压氢化锅进行试制,气相与液相的接触仅停留在介面附近,混合效果极

差,终点很难控制,影响产品质量。通过设计自吸式氢化器,使液面以上的气相不断吸入液相,并得以均匀混合,从而可以准确掌握加氢量,控制产品质量,保持恒定融点,迅速开拓了市场。

4.2 优点

我们通过多年来推广应用自吸式气液反应器的实践,证明该反应器与其它釜式反应器相比,具有以下突出的优点:

(1) 节约了气体输送设备及其附件,相应地节约了投资和能源以及一定的场地面积与维护管理。

(2) 所有采用自吸式反应器的反应过程,都在不同程度上缩短了反应时间,比原有反应器的操作时间缩短 1/3 至 1/2。

(3) 由于气液接触良好,传质效率提高,反应更加完全,产品收率都有显著增加,如某农药中间体产品氟化反应的收率增加了 20%。

(4) 由于充分掌握吸气的规律,反应控制比较严格,产品质量良好,副产物减少,原料利用率高,经济效益明显。

(5) 针对某些特殊的应用,还可以解决材料腐蚀、设备革新和产品开发等关键问题。

自吸式气液反应器的应用已有多年经验,国内 20 余家工厂的应用结果显示,该设备具有优异的结构和独特的性能,在化学反应生产过程中已经发挥较大的经济效益和社会效益,还可以进一步推广应用于污水处理、湿法冶金等其它领域,使之发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 李可求. 上海化工, 1994, 4(1): 12.

Design and Application of Self-Priming Gas-Liquid Reactor

HE Zhi-Min, LI Ke-Qiu

(Shanghai Institute of Pharmaceutical Industry, Shanghai 200040)

ABSTRACT The self-priming gas-liquid reactor is a chemical reaction installation in the case of inducing external gas for gas-liquid contact without any gas compression machinery. A specially designed hollow turbine agitator is used for mixing the gross liquid and inducing the external gas simultaneously in order to accomplish the gas-liquid reaction required. The principle, structure, design calculations as well as those successfully used examples for hydrogenation, amination, fluorination, alkylation in pharmaceuticals, dyestuff, edible oil industrial manufacturing processes are introduced.

Key Words self-priming; hollow turbine agitator; reactor; design