

立式三层冷凝蒸发器的研发设计

蒋旭*¹ 姜晓霜¹ 厉彦忠²

(1. 中空能源设备有限公司; 2. 西安交通大学能动学院)

摘要 介绍了空分设备的冷凝蒸发器工作原理及当前应用的3种形式,阐述了立式三层冷凝蒸发器的结构、工作原理和研发技术的关键,同时与其他形式对比,说明其优势和研发意义。

关键词 空分设备 立式三层冷凝蒸发器 研发 设计

中图分类号 TQ051.6*2

文献标识码 B

文章编号 0254-6094(2014)04-0517-03

冷凝蒸发器是空气分离成套装置的核心设备,它主要是将来自下塔的压力氮气冷凝,上塔的液氧蒸发,载体为铝制板翅式换热单元^[1],该单元为连接上、下塔的重要装置,其换热面积的大小直接关系到换热温差的大小。当主冷凝蒸发器的换热面积小时,主冷凝蒸发器的运行温差大,下塔的工作压力较高,致使空压机排压升高,运行能耗增大;当主冷凝蒸发器的换热面积大时,下塔的工作压力较低,致使空压机排压降低,运行能耗减小。所以空分装置中的冷凝蒸发器不仅影响到系统的正常运行,还与装置的氧、氮、氩等产品的能耗相关。

1 国内外研究现状和发展趋势

由于空分装置正常运行时冷凝蒸发器位于上塔下部与下塔上部之间,其壳体要与上塔和下塔相连接,所以要求直径上不能相差太大。而冷凝蒸发器的壳体直径决定所能容纳板式单元的个数,由于受到换热温差的限制,板式单元的高度一般不能太高,否则会出现无效换热面积,所以冷凝蒸发器换热面积的增大只能通过增大壳体直径或者增加板式单元的个数和层数来解决^[2]。

从结构形式上划分,冷凝蒸发器主要有立式单层、立式双层、卧式多列和降膜主冷4种类型。其中立式单层结构简单,数只板式星型布置或者并列布置于壳体内;立式双层采用上下两层结构,通过溢流管与升气管连接上下两层;卧式多列结

构工作容量大,但是其结构复杂,在冷箱内占据空间较大,配管难度较高,同时支撑只能设置在冷箱壁面,会使得运行时其受到应力较大;降膜主冷运行温差小,一般为0.6~0.8K,节省能耗较大,国内尚未开发应用,由于其在液体分配器和循环倍率的控制上难度较大,需要通过实验数据解决。

在立式单层冷凝蒸发器内,铝制板式单元个数一般为1只、2只、4只或6只,星型主冷凝蒸发器的铝制板式单元个数有3只或5只。多只板式单元的冷凝蒸发器其氮气一般先由总管分流至支管,进入板式单元液化后由支管汇集进入总管,回流下塔。液氧自上塔进入釜内后,在板式单元内气化,受到重度差作用,不断由下而上进入板式单元,如此形成循环。单层主冷凝蒸发器受到其直径的限制,一般只能满足1.5万等级空分装置的换热面积要求。

立式双层冷凝蒸发器采用上下两层结构,板式单元采用8只或12只布置,换热面积较立式单层扩大一倍。上下层之间设置液氧溢流管与氧气升气管,下塔的氮气与液氮通过汇集管与支管分流到各板式单元,同时设置下部测满管,顶部设置支撑架同上塔相连。

卧式多列为横置多列的板式单元结构,其优点是解决了大型空分大换热面积的要求,但是与上、下塔连接时管路较为复杂,且所占冷箱空间大、不紧凑。笔者开发的立式多层冷凝蒸发器采

* 蒋旭,男,1983年12月生,工程师。浙江省杭州市,310051。

用多层化集成的理念,成倍扩大了冷凝蒸发器的换热面积,不仅解决了6~12万等级空分设备的冷凝蒸发器所需大面积换热问题,而且结构紧凑,强化了塔的稳定性和工作容量的限制问题,同时避免了卧式多列的复杂结构及其他缺点,因此具有很强的竞争力和市场潜力。

2 主要研发内容和关键技术

通过将冷凝蒸发器多层化,利用立式三层冷凝蒸发器大换热面积的优势代替立式双层冷凝蒸发器及卧式多列冷凝蒸发器。立式三层冷凝蒸发器研制项目的主要研发内容为:

- 研究立式三层冷凝蒸发器多层结构,使其紧凑合理;
- 计算气相及液相的汇集管,使之分配均匀,流速控制在合理范围内;
- 计算每层之间气相空间的高度,使得间隔有足够的可靠性;
- 对多层冷凝蒸发器的内部制造、厂内安装及检验做出合理的工艺设计。

该项目的技术关键点:

- 应用成熟软件对设备进出口的流场进行计算,最终确定准确的分流管及汇集管直径;
- 应用成熟软件对内部管路进行合理安排,使得管路走向和应力值在合理范围;
- 确保各层制造安装逐层、逐步合格,使得多层化后制造工艺能实现。

3 创新结构研发设计

立式三层冷凝蒸发器(图1)的工作原理为:

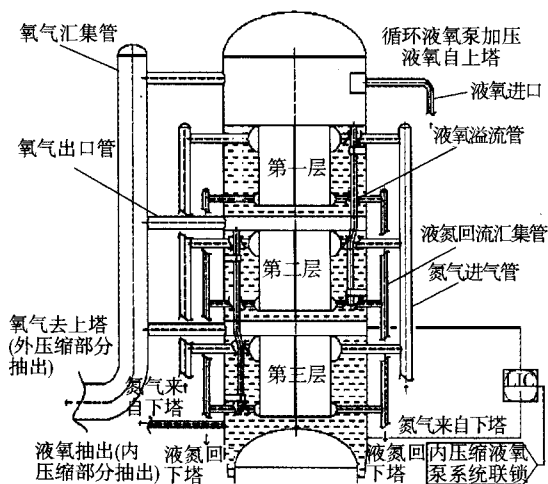


图1 立式三层冷凝蒸发器

a. 氮气冷凝工作回路。氮气来自下塔,由于氮气的工作压力高,冷凝饱和点高,液氧工作压力低,蒸发饱和点低,得以使氮气冷凝,液氧蒸发。氮气自氮气进气管分流至各氮气支管,进入1~3层板式冷凝为液氮,由各个支管汇集至液氮回流汇集管后进入下塔。

b. 液氧蒸发工作回路。液氧来自上塔,由循环液氧泵将上塔(位于地面)底部的液氧加压送入冷凝蒸发器上部,经过闪蒸槽气液分离后,液氧进入第一层冷凝蒸发器,当第一层冷凝蒸发器液氧液位高于板式顶部时,通过液氧溢流管溢流至第二层冷凝蒸发器,氧气自板式空间上部抽出至氧气汇集管;第二层液氧液位至板式高度后,溢流至第三层冷凝蒸发器,氧气顶部抽出至氧气汇集管;第三层主冷凝蒸发器,内压缩空分设备流程液氧自底部抽出^[3],氧气顶部抽出至氧气汇集管;外压缩流程氧气部分抽出^[4],其余进入上塔,内压缩空分设备流程氧气全部进入上塔。

第三层冷凝蒸发器的液位与内压缩液氧泵系统进行联锁,保证冷凝蒸发器安全运行。

釜式多层主冷凝蒸发器结构为组合板式结构,对于6~10万等级可采用立式三层结构,满足了空分设备特大型化冷凝蒸发器换热面积的要求。同时降低了空压机排压,节省了能耗。如果换热面积不足,可以扩展到更多层。该冷凝蒸发器是立式整体板式结构(图2),液氧自液氧汇集管首先流入第一层的液氧釜,第一层的液氧釜满后溢流入第二层,第二层满后溢流入底部,其优点是管路少,配管及结构简单,缺点是每层直径均需要有溢流间距(可以设置收集器),否则液氧不能全部溢流至下一层。同时要兼顾气相上升空间,还需要有一定的液氧持液量,这样致使整体板式的截面不能做太大,一般层数不能做到超过4层,否则部分层液氧不足会发生干蒸现象。这种结构的氮气侧阻力会增大2~3倍,一定程度上致使空压机排压升高,增加了能耗,这也是其不可避免的缺点。该冷凝蒸发器是板翅式结构,降膜主冷凝蒸发器结构如图3所示,液氧自液氧槽首先流过液氧槽底部的小孔,然后流过水平横置于液氧通道的打孔翅片,这种翅片能促进液氧槽内的液氧均匀分布到液氧通道中,从而达到液氧均匀分布的效果。

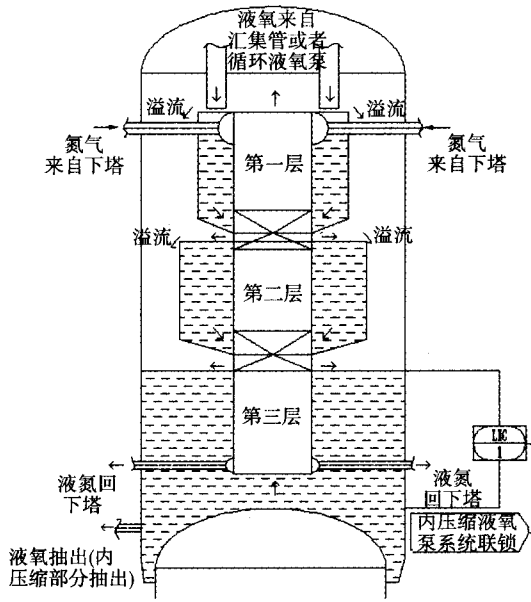


图 2 立式三层整体板式结构冷凝蒸发器

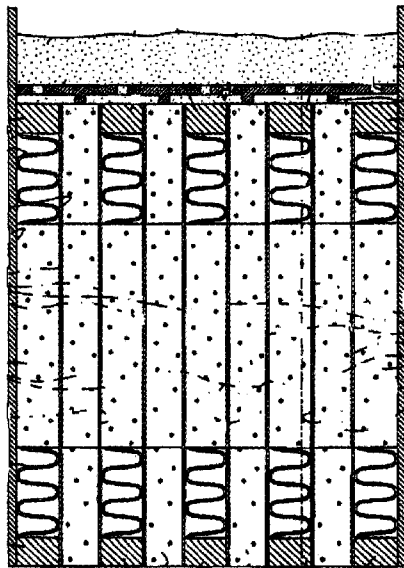


图 3 降膜主冷凝蒸发器结构

4 产品实例对比

为了直观地了解实用新型产品的性能优势,现列举一实例设计进行性能对比。图 1 是立式三层结构,通过多层化后,使其对空气流量的处理流量增加数倍。当前一套 1.5 万制氧设备用的冷凝蒸发器,其设备的直径为 4 400mm,6 只板式;一套 6 万制氧设备用的双层冷凝蒸发器,其设备的直径为 4 400mm,12 只板式。现将立式冷凝蒸发器的特性参数进行对比,结果见表 1。

表 1 3 种结构冷凝蒸发器应用参数对比

类型	直径/mm	温差/K	配套最大等级/万
单层	4 400	1.3	2
双层	4 400	1.5	6
立式三层	4 400	1.3	12

由表 1 可知,立式三层可以满足配套的空分装置要远远大于立式单层和立式双层冷凝蒸发器,采用氧气管外伸结构,可以使得壳体内部的结构更为简单,内部安装更为方便。独特的液氧溢流管结构,使得液氧自上而下流入下一层更为安全,同时第四层设置液氧液位与液氧泵系统联锁(内压缩空分设备流程同产品液氧泵系统联锁,外压缩流程同循环液氧泵联锁),使得液氧液位不低于板式高度的 80%,保证装置安全稳定运行。

5 结束语

步入 21 世纪以来,我国浮法玻璃、集成电子、冶金行业、石油化工及煤化工等行业的强势崛起,使得我国气体分离行业的发展进入了一个新阶段。特别是煤化工项目的集中发力,促使与其所配套的空分等级越来越大,一般均在 6 万等级以上,8~12 万等级特大型空分装置的市场需求频频出现,随着设备性能及规格要求的不断增加,主冷凝蒸发器已成为制约空分装置特大型化的因素之一,而空分装置的大型化发展已成必然趋势。此次立式三层冷凝蒸发器的问世,将会解决 6 万等级以上空分设备主冷凝蒸发器换热面积不足的难题,为我国乃至世界气体分离行业的进步做出贡献。

参 考 文 献

- [1] 张祉祐. 低温技术原理与装置[M]. 西安:西安交通大学出版社,1985.
- [2] 黄建斌. 工业气体手册[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [3] 蒋旭. 化工型空分设备内压缩流程选择[J]. 深冷技术,2011,(7):10~15.
- [4] 蒋旭,张森,白宁莉. 冶金型空分设备的流程选择[J]. 低温与特气,2012,30(5):6~10.

(收稿日期:2014-01-17,修回日期:2014-02-28)