

杭氧大型空分设备精馏塔技术与研发现状

管小勇

(杭州杭氧股份有限公司设计院, 杭州市东新路 388 号, 310004)

摘要: 本文介绍了杭氧近几年研发和设计的大型空分设备精馏塔的技术现状及其应用的新技术。在此基础上, 笔者根据多年的工作体会, 提出了今后空分精馏塔技术的研究方向。

关键词: 空分设备; 精馏塔; 新技术; 研究方向

一、前言

在国家鼓励和发展重型装备的大背景下, 配套于重型装备的空分设备也迅速发展起来, 对大型空分的需求也日渐增多。在短短的五年内空分等级迅速提高到六万, 步入了杭氧乃至中国的大型空分的发展时代。

精馏塔作为空分设备中的关键设备。杭氧经过多年的努力, 在精馏塔的研发和设计中应用了多项新技术, 特别是计算机的应用, 更是为空分精馏塔的设计提供了更为可靠的设计依据, 在塔的性能和安全性方面得到了很大的提高。笔者针对目前应用于大型空分的精馏塔技术现状作一些介绍, 并对以后精馏塔研究的方向作一些探讨。

二、应用于大型空分设备精馏塔的技术现状

精馏塔是空分设备的核心, 是实现流程设计目标的关键。随着空分设备应用领域的扩展和空分流程的多样化, 对产品的产量、纯度和提取率要求越来越高, 给精馏塔的设计提出了很多难度, 但也同时促进了精馏塔技术的进步。

1、高效四溢流筛板塔

在同样的操作范围内, 大型空分的处理量将变化更大, 如果应用普通的溢流塔板将很难理想的控制塔板的操作液面高度, 而且, 大直径塔板面临流路太长, 液面落差大, 造成塔板不能稳定工作和发挥应有的效率的问题。为了解决这些问题, 杭氧人大胆的开发了四溢流塔板, 它有效利用塔内面积, 缩短流路, 减少落差, 降低溢流强度, 有效改善气液接触, 大大提高了塔板效率和液体处理能力^①。从宝刚三万和灵谷五万等空分下塔应用四溢流塔板实际情况看, 不但可以有效改善精馏效果, 还体现了整体运行阻力减小的效果, 足见该技术的可靠性。

2、规整填料塔

杭氧厂早在 70 年代末期, 就率先在小型高纯氮设备上应用了规整填料 (济南钢厂), 并取得了成功^②。由于规整填料塔具有效率高, 压降小, 持液量小和操作弹性大的特点, 所以很早就被广泛应用于石油、化工等领域。而在空分设备领域的应用相对较晚, 但发展也是十分迅速的。应用规整填料塔技术, 为生产高纯度氧、氮产品提供了可能, 也在全精馏制氮技术中起到了关键作用, 更值得一提的是应该填料塔后, 操作阻力将相比下降很多, 为空分设备的节能做了贡献。

针对大型空分, 规整填料塔已经很成熟的应用于低压的上塔、粗氮塔和精氮塔中。中原大化五万二空分项目, 宝钢六万空分项目的应用由于其操作弹性大, 压降低, 大大节省操作能耗而得到了用户的一致好评。

规整填料塔技术在中压的下塔中应用, 国内还在摸索过程中。只有在针对操作范围大的空分设备, 四溢流塔板不能满足需求时, 才考虑采用填料塔技术, 相比采用填料塔, 设备投资将大大增加。在中原大化五万二下塔中应用填料塔技术

的开车成功，为下塔应用填料塔提供了实际经验和对比依据。

3、高效分配器

使用规整填料塔，对初始分布敏感，隔一定高度需要安装收集、分布器装置，因此，如何发挥填料塔的生产潜能，一定程度上取决与分配器的设计。

在填料塔应用初期，分布器主要采用槽盘式，他包括液体收集器和分布器，其特点是液相混合充分，但其结构复杂，而且要浪费一定的设计高度。针对这些情况，杭氧开发应用了独立高效的槽式分配器，在保证液相充分混合，气相均匀分布的同时，大大节省了操作压降和设计高度。

现阶段，槽盘式分布器由于技术可靠，为保证空分设备的成功，一般先用于新开发空分等级的项目中，如宝钢六万空分；而槽式分布器在大量的实际应用基础上，也慢慢的应用于大型空分的上塔和氩塔之中，不懈地为国产化开发做一步一步的探试。

4、合理的进出口结构设计

不论是筛板塔，还是填料塔，都要考虑对进出口物料的处理。比如对于直径为 4.5 米的精馏塔，进口的气体在操作压力下一般要 1 米的高度才能分配均匀，而且必须距离操作液面 0.5 米以上，但如果加装气体分配器，气体在 0.5 高度内既能分布均匀，也避免了气体流动对操作液面的影响，可以降低整塔的设计高度。对于液体进料也一样，如果设计合理的结构将大大优化塔内物流的稳定性，从而提高塔精馏塔的分效率。杭氧在实际的设计过程中，对于各个进出口都有独特的设计结构，来保证在有限的空间内，做到最优化的物流分配。

三、其他应用于特大型精馏塔设计的新技术

杭氧对大型空分塔设备的开发过程中，还用到了很多先进的分析技术，其中主要有流体力学分析技术和 ANSYS 有限元分析技术。

1、计算流体力学分析技术

计算流体力学 Computational Fluid Dynamics (简称 CFD)，是用离散化的数值方法及电子计算机，对流体无粘绕流和粘性流动进行数值模拟和分析的学科，它是将传统的流体力学应用了计算机技术而兴起的一门学科。计算流体力学是为弥补理论分析方法的不足而于 20 世纪 60 年代发展起来的，并相应地形成了各种数值解法。主要是有限差分法和有限元法。

计算流体力学最先应用于气象学科，后在波音公司的大力应用和研究下，使计算流体力学在航空领域得到了广泛的应用，波音公司也因此得到了很多的益处，大大节省了因风洞实验而造成的成本。随着计算机的发展，计算流体力学也很快应用与其他的学科，特别是在化工行业，利用计算流体力学，可以模拟的流体运动的复杂程度、解决问题的广度和能模拟的流体运动的复杂程度。若物理问题的数学提法（包括数学方程及其相应的边界条件）是正确的，则可在较广泛的流动参数（如马赫数、雷诺数、气体性质、模型尺度等）范围内研究流体力学问题，且能给出流场参数的定量结果。

在大型空分精馏塔的设计过程中，该技术应用也只是在尝试期，局限于对简单的流体运动，用计算的方法来确定塔内结构的设置。如果能顺利应用，计算流体力学将用来解决在实际工作是液体和气体的流动情况。通过建立填料的实际模型，加载给定的温度、压力等作用，来模拟流体在塔内的实际运动状态。这将大大提高我们设计的精确性，而且可以发现新的流路问题，以至为将来改进填料参数和开发新的填料都将提供新的技术支持。

2、ANSYS 有限元分析技术

有限元分析（FEA, Finite Element Analysis）是将求解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成，对每一单元假定一个合适的（较简单的）近似解，然后推导求解这个域总的满足条件，从而得到问题的解。有限元的基本概念是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。它这个解不是准确解，而是近似解，因为实际问题被较简单的问题所代替。由于大多数实际问题难以得到准确解，而有限元不仅计算精度高，而且能适应各种复杂形状，因而成为行之有效的工程分析手段^③。

针对塔设备大型化，工艺流程复杂，及其现场安装条件限制等特点，大型塔设备要受到许多机械载荷的作用，如自重、内压、介质重量、风载、地震载荷等等，这些载荷的共同作用造成了设备的强度问题。这些问题，通过常规的计算是很难准确判断设备是否安全的。而在空分设备中，塔器对安全性、可靠性要求高，要求设计必须保证其强度、刚度、稳定性能够满足要求。通过 ANSYS 有限元分析的方法，既能从结构分析（包括结构静力分析、结构非线性分析）和结构动力分析方面，来准确判定塔器是否满足设计要求。

四、杭氧空分精馏塔新技术的研究方向

目前，杭氧已经成功的经历了三万等级到六万等级的发展，为了巩固和提高新形势的发展，精馏塔设计还有很多路要走。

1、高效四溢流塔板的优化研究

塔板的工作方式是：气体以鼓泡或喷射形式穿过塔板上液层，是气、液两相互接触，进行传热、传质过程。因此，要设计合理的塔板必须满足具有高的传质效率，阻力小，同时还要适合一定的变工况操作范围，应此对塔板的设计控制点比较多，特别是适用于大型空分的四溢流塔板，杭氧也做了很多有效的工作。从设计上，塔板工作要防止两种倾向：一是液体从塔板上泄漏下来的“液漏”；二是蒸汽夹带着液滴上升的“雾沫夹带”^④。所以，四溢流塔板的设计首先要考虑塔板的有效筛孔面积，并且控制流路的长短，以使塔板能稳定、均匀的工作。就现在而言，塔板设计主要有两种方法，一是等面积设计法，二是等流程设计方法。在设计中究竟采用何种原则，还要看具体的参数要求，其目的是使塔板的漏斗区、筛孔区、受液区达到合理分配。为此，还要在现有的实际应用的基础上做大量的、具体的研究和归纳。

现在的空分设备，操作范围也将越来越大，所以对塔板开孔的选择就显得更重要，一般来讲，开孔率变大，可使塔径减小，提高处理能力，但操作难度变大，甚至可能在满足低负荷工况时发生漏液体的情况。如果采用开孔率小，往往容易造成阻力偏大。所以选择合适的开孔率，也是塔板设计的关键。

四溢流塔板，由于结构现对复杂，液相流路变多，而且塔径的增加，对塔板的水平度比较难控制，所以实际设计中，控制塔板液相高度会适当提高。对于小塔，一般控制在 20mm 的高度，而对大塔，则一般控制在 25mm。相应的设计中，也会适当提高塔板的塔板间距，但距离太大，白白浪费塔体的高度，距离太小，就不能满足上负荷工况，也容易造成淹塔现象。因此对于具体参数的选择在今后的工作中要深入地加以研究。

2、填料塔及其高效塔内件的开发技术

填料塔的设计，一是选择合适的填料型号，二是选择合适的填料高度。从设计的参数来看，主要是气体负荷动能因子，液体喷淋密度和填料阻力。前两个参数主要是根据实际的经验来选择合适的填料型号，而后者参数，由于受操作压力，操作介质的不同而各不相同，对填料阻力的计算液往往采用经验的公式算法。实

际得出的结果也与实际开车有较大出入。所以，真正对填料阻力的计算还在进一步摸索过程中，现阶段，对很多实际的开始数据，按照数学的处理方法，得出了一定得计算公式。经过验算，现以基本符合实际情况，现还需要经过更多的，新的开车数据来验证公式的可靠性。如能准确的计算各个填料段的操作阻力，将有助于分配各个填料段的实际高度，也将大大降低整体的运行阻力。一般情况，如果塔的阻力能减少 1KPa，则空压机的背压将减少 3KPa，可见，对上塔阻力的研究，将直接关系到整个空分的能耗。

现进的填料塔技术适用于常压精馏，如应用在上塔、氩塔。对于高压规整填料塔的流体力学性能及传递行为认识还在研究中，一般认为，高压下气体的返混、变物理性能及气液体积传质系数变化是主要影响高压精馏的因素。高压条件下，由于液体的动能通量大，填料均匀分散液体能力降低，而气体速度降低，这样最终导致填料内液体分布不均匀。液体夹带气体，形成气体返混。因此，将填料技术正式应用中压塔中还有待于进一步的开发。

杭氧规整填料塔地技术主要来自于与天大、法液空、苏尔寿等公司项目合作，所以对大型的空分，考虑设备的可靠型，一般仍是采用进口的填料。但相比成本较高，所以杭氧人一直致力与填料塔的国产化，通过对比，通过实际开车数据，不断总结，迄今为止，已在五万等级和六万等级的氩塔中实现国产化的研究。

填料塔的好坏，一办来自塔内件的设计。塔内件一般包括喷淋装置、支撑和压紧装置、再分配器和气液进出口管等组成。如果不能设计合适的喷淋装置，就不能有效的润湿填料表面，而使填料不能发挥最大的功效，如果没有合理的分配器，不能将气、液均匀的通过填料段，而不能达到预先设计的要求。分配器分液体分配器和气体分配器，作用都是将介质分配均匀，以使介质能再填料段内正常的进行传质，特别是大塔，多进口出，低填料高度的填料塔。现杭氧虽已用上了自己行开发的高效分配器，但对分配器的开孔设计、高度控制和进出口物料混合的过程尚未深入的研究，因此，开发和优化现有的高效分配器，将仍是我们设计和研究的方向。

3、全提取的研究

通常的空分设备仅提取空气中的氧气、氩气、氮气，而全提取设备除提取这些气体外，还同时提取粗制氖、氦、氪、氙等稀有气体。但在空气中，氖、氦、氪、氙的含量很小，在中小空分设备中设计全提取流程不大可能，所以只有在大型空分设备中设置全提取比较合理。到目前为止，在杭氧开发的三万等级空分中，部分已经采用了全提取的流程设计，但仍在摸索阶段。

根据稀有气体的物性特点，结合过外的先进技术，如要分离出合格的产品，需要对产品进行粗提取和精制两个阶段。由于处理量十分小，所以一般考虑采用填料塔，但在填料的选择上，仍需做更多的工作。杭氧终究也会在全提区上取得又一进步。

4、稳态和非稳态对精馏影响的研究

不论是采用性价比高的筛板塔，还是采用高效率的填料塔，在设计计算中，均是以稳定的流程前提下模拟出的气、液量。也就是说，在未达到稳定的工况时，塔板的实际工作是不按照模拟计算的情况运行的，而实际运行过程中，从一个开车积液到达到一个稳定的工作状态是，塔板的工作都是时时刻刻变化的，从实际反馈的信息来看，也有这样的情况。比如，在新余“25000”空分设备中，下塔在未建立稳定工况时，塔板不能按照正常操作的思路运行，而是在一次意外的增加回流液量，才正式建立起稳定工况。

另外，进出物料模拟的准确性也直接影响着对塔的影响。比如在湖北枝江“48000”的空分中就分析出可能由于出气口带液、进液口带气而造成了塔板未按照模拟工况运行，使精馏塔的分效率及低，产品不能达标。

五、结论

随着大型空分的开发和应用，精馏塔的技术也将越来越成熟。以上也是笔者在精馏塔设计工作中的一些技术总结和对新技术的应用设想，提出主要的研究方向，但精馏塔技术是基于多学科基础的技术，笔者能力有限，文章中有不对之处请读者指正，与大家一起交流。将空分精馏塔技术提高到一个新水平，为空分的高效、低能耗、安全性方面将做出贡献。

(2008. 05)

参考文献

-
- ① 杭氧空分精馏塔的技术现状及进展，杭氧股份有限公司设计院，陈桂珍，《杭氧科技》2004第4期
 - ② 空分填料的应用与全精馏制氮，杭氧集团公司工程部，何子田 邵维达，1997
 - ③ 百度搜索 有限元分析技术
 - ④ 现代空分设备技术与操作原理，第6章 空气分离原理及低温精馏塔，陈桂珍，2005