

空分精馏塔的设计与研究

杨修玲

(杭州杭氧股份公司, 浙江, 杭州, 310004)

摘要: 本文介绍了精馏塔的设计与工艺制造, 着重介绍了精馏塔设计与校核方法; 旨在探讨精馏技术.....

关键词: 精馏、精馏塔、塔内件、安装、应力分析

Research and discussion about rectification column

Abstract: Design and manufacture method about rectification column have been introduced in the article, design and check method have been emphass analyzed. The article aims at studying rectification technology

Keyword: Rectification column; Rectification; Tower internals; Install; Echanics analyse

杭氧空分在中国空分的舞台上稳占龙头位置, 在世界空分的行列里也不啻为一颗闪亮的巨星, 究其原因, 是与其心脏部机精馏塔的先进与可靠分不开的。

随着现代化工业的发展, 空分日趋大型化, 空分设备中的精馏塔也不断向大型化挺进。杭氧的大型化空分, 从两万到三万、从三万到四万、再到五万..... 稳妥扎实地一个接一个相继一次开车成功的实例表明: 杭氧空分设备之精馏塔性能良好, 运行稳定。

那么, 杭氧精馏塔的良好性能是如何保障的呢? 精馏塔成功的“秘诀”又在哪里呢? ——无疑, 可靠的设计、先进的工艺和制造水平才能造就成功的设备! 笔者作为杭氧精馏塔的设计人员, 从设计的角度看问题, 在此向大家略做介绍, 希望能对大家有所启发。

· 可靠的设计是精馏成功的首要前提 ·

1. 精馏塔塔盘结构形式的确定

精馏塔塔盘结构形式的确定是整个设计的关键所在, 它对整个精馏塔的设计起一个前导性的作用。不同塔盘结构形式的精馏塔所选用的设计方法是不相同的; 而且, 精馏塔塔盘结构形式的确定还会影响到塔的生产成本和周期, 影响到整个空分流程的运行阻力等重要开车参数。

一般来说, 空分精馏塔塔盘结构形式有筛板和规整填料两种, 两种结构形式的精馏塔相比而言, 性能都是一样的可靠。采用规整填料塔与采用筛板塔相比, 填料塔的开车阻力更小, 操作弹性更大(主要更利于下限操作); 但是规整填料塔造价高, 适用于低压的环境下运行。所以, 通常我们结合客户的自身投资意愿, 精馏下塔一般采用筛板塔(但也可采用规整填料塔)。

2. 精馏塔的水力学计算

精馏塔的水力学计算很复杂, 不同结构塔盘的计算也有很大的不同; 在不同的计算资

料里，计算的具体方法也不尽相同。下面我们从计算原理方面对筛板塔和填料塔的计算分别介绍。

2.1 筛板下塔的水力学计算

对流型筛板下塔的水力学计算方法最初引进国外技术；空分发展到今天，塔设备的大型化，使得塔的放大效应越来越明显，原来的计算方法已经不再适用。精馏塔设计人员经过不断地研究与探求，在实习总结的基础上针对大型化空分摸索出了一套自己的计算方法，这种计算方法经多次实践证明，是可行而可靠的。

2.1.1 塔径的确定

塔的设计工艺参数确定以后，塔径基本上就可以确定了。确定塔径 D_i ，首先必须确定空塔速度 W_a 。空塔速度的选取必须恰当，既不能使下限操作时引起不均匀鼓泡，又不能出现上限操作时的雾沫夹带和液泛现象，还要考虑合适的汽液接触时间。

空塔速度 W_a 确定以后，根据公式 $F_a = V / W_a = \pi * D_i^2 / 4$ ，我们可以计算出塔板的面积 F_a 和塔径 D_i （公式中 V 代表气体流量， F_a 代表塔板的面积，）。

2.1.2 塔板通道数的确定

在塔板的水力学计算中，溢流强度是一个很重要的参数，它贯穿整个的水力学计算过程；合理的塔板结构，应该把溢流强度控制在一个合理的范围内，这样整塔设计的性价比才会高。在液体量一定，塔径确定的情况下，只能通过改变流通道数来改变溢流强度了。所以常规流程 $30000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 以上的空分中，筛板下塔就要采用四溢流的塔板结构了。

2.1.3 塔板各区域的比例分配

塔板各区域的比例分配是筛板塔设计是否成功的关键。合理的比例分配，首先保证各区域的气液处理量和气液接触的停留时间与本区域的处理能力相一致；它能够很好地控制气液平衡，使各区域上的物流经过传质后得到不存在组分差异的物流。

要想得到合理的区域比例，必须先确定好溢流斗和接液槽的大小。溢流斗在塔板中既是引导液体下流的降液管，更是实现气液分离的分离器；溢流斗的大小设置必须合理，既不能太大，又不能太小：既要考虑把尽可能多的面积让给气液传质区域（即孔板部分），又要考虑实现气液分离，避免气液返混；接液槽又称受液盘，塔板溢流斗确定好后，只要不阻挡液体流向塔板进行传质就可以了。

2.1.4 孔板开孔率的确定

孔板是塔板上进行气液接触的传质区域，开孔率的大小直接影响塔的传质效果；开孔率的大小要综合考虑，把下限操作时不漏液，上限操作时不会产生雾沫夹带和液泛现象作为开孔率选择的依据，同时考虑控制合适的阻力范围。

2.1.5 塔板间距的确定

塔板间距是影响塔高度的主要参数，它关系到塔的制造成本和性能指标；利用尽量小的空间、选择尽量少的塔板实现尽可能充分的精馏目标，是塔板间距确定的主要原则。

为了整塔设计具有较高的性价比，塔板间距必须控制在合理的范围内；凡塔板上影响塔板间距的设计参数（比如各进出口的堰高、溢流斗的结构形式等），都应该尽可能做到优化设计。

2.2 填料塔的水力学计算

空分精馏塔除下塔外还包括上塔、粗氩塔和精氩塔，杭氧设计的上塔、粗氩塔和精氩塔采用规整填料塔。

规整填料塔的水力学计算没有现成的经验可寻，在国内外的资料中可利用的也是寥寥

无几；经过多年的摸索、总结与回归，杭氧有了自己的计算方法，这种计算方法经多次使用证明是安全、正确、可行、可靠的。

不同项目中的氩塔工艺参数中除了量和纯度的差别以外，其它的操作参数（温度、压力等）都相差不大，所以我们常常采用对比经验的方法进行设计；加之它的设计计算方法与上塔是相通的，所以我们此处介绍以填料上塔的水力学计算为主。

2.2.1 塔径的确定

上塔一般有 5 或 6 个分离段，每个分离段都对应不同的工艺参数，设计起来比较复杂；为了简化制造与计算，提高塔的性价比，我们选择统一塔径进行设计。

2.2.2 填料高度的确定

填料是填料塔设计的关键，它直接关系到塔的分选效果；填料型号一旦确定，在空分操作的条件与气液负荷一定的前提下，该填料的效率也就是一定的。填料的效率一般用每米填料相当的理论板数来表示，相当的理论板数越多，填料的效率越高；填料的效率与填料的结构型式、几何特性、操作负荷和介质的物性有关，理论上是可以计算得出来的。

空分精馏塔的填料高度除了利用计算出来的填料效率进行选取以外，还必须结合实际的经验，根据具体项目所要求的侧重点来确定。

2.2.3 填料压降的计算

在进行填料压降的计算时，常用关联式和冷模实验所得的压降曲线计算得来；在上塔的整塔设计中，两种方法计算得来的结果是一致的，与实际开车的结果也相吻合，一般都控制在 $\sim 6\text{Kpa}$ 。

2.2.4 液体分布器的设计

为了充分发挥填料的传质效果，也为了实现塔内外物料的传承，填料塔内常常设置多只液体分布器。液体分布器的设置必须注意做到以下四点：

第一，保持足够的液位以保证物料的混合均匀和分布器的稳定分布；

第二，分布器的分布点数必须足够多，分布器的分布效果才会好；

第三，分布器分布点数的布置，必须在整塔的圆截面上尽可能均匀分布，在塔的近筒壁处通常设置支承圈；

第四，分布器上的液体小孔不能太小，以防止小孔堵塞，影响分布性能。

2.2.5 塔其余内件的设计

塔的其余内件包括填料的支承装置、压紧装置、液体收集器等。填料的支承与压紧装置必须足够牢固，所占的面积尽量小，以便于尽可能增加塔的有效利用面积；液体收集器必须注意保持良好的收集效果，同时起到气体均布的作用。

3. 精馏塔的强度计算与稳定性校核

3.1 整塔的稳定性的计算

在国内的标准中，JB4710《钢制塔式容器》是关于塔器稳定性设计的主要设计准则，它建立在地震反应谱理论的基础上；JB4734《铝制焊接容器》则是铝制产品的设计规范，但它里面并没有塔式容器的计算方法。杭氧所设计的空分精馏塔，多属铝制（而非钢制）产品，而它又是通过螺栓与钢制基础架连接在一起（远离地面的反应谱曲线与地面加速度的反应谱曲线肯定不能吻合在一起），所以整塔的稳定性的计算既没有现成的经验可寻，更没有与之相适应的标准来依靠。

所以，我们所设计的精馏塔，稳定性计算方面结合利用了 JB4710《钢制塔式容器》和 JB4734《铝制焊接容器》的双重理论，采用 JB4732《分析设计》的方法进行的；对于地震

烈度较大区域的一些塔设计，我们还采用了 PVELITE 的软件进行双重的校核。

3.2 塔内件的强度设计与校核

3.2.1 塔内支承件的设计与校核

塔内承重的内件常见结构有格栅式、圆板式、梁式和环式，这几种结构的支承件进行设计与校核我们一般采用应力分析的方法。

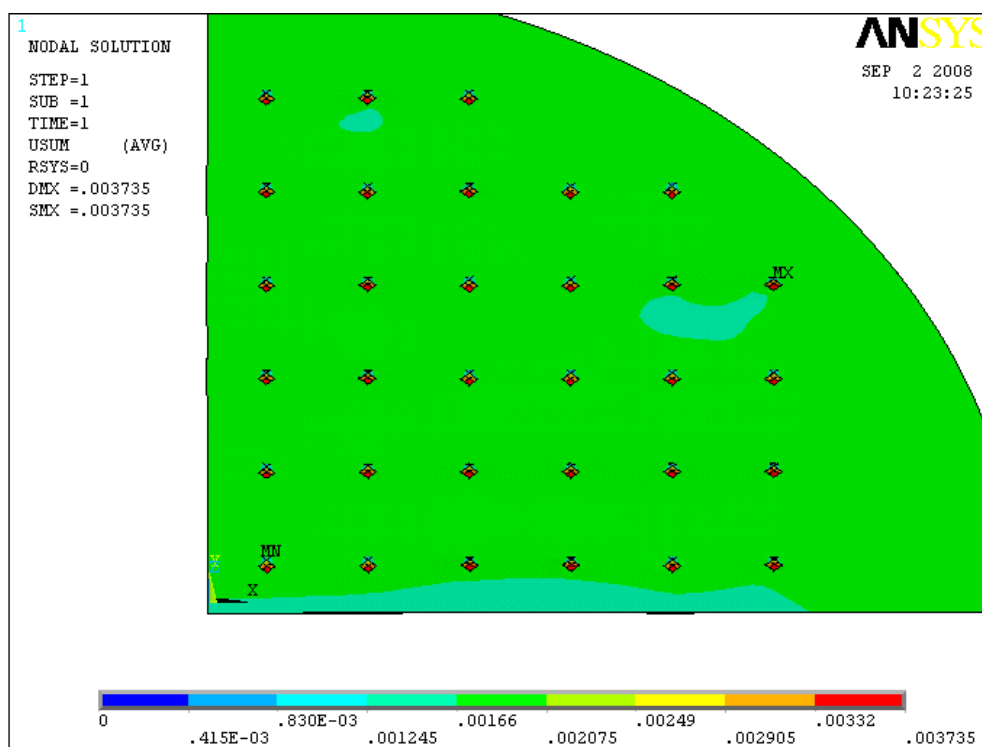
我们对这几种不同结构的支承件用应力分析的方法进行分析对比，结果如下：

格栅式支承件的应力最大处分布在近塔壁、各支承板的两端处，而最大挠度出现在塔中心、各支承板的中心位置处。增加格栅的高度和各支承板的厚度是减小应力和挠度的有效方法；圆板式支承件结构简单，当承重和塔径固定时，它的应力分析结果只取决于板的材质和厚度；梁式支承的梁有的用型材（例角铝或角钢、槽铝或槽钢、工字铝或工字钢等）制作、有的用支承板制作、还有的用板折弯成一定的形状来制作而成。支承板制作的梁受力情况与格栅式支承的类似，同等高度、承重相同、同一塔径、使用相同材质的情况下所需要的支承板厚度更大；型材结构的梁当中受力最好的为工字铝或工字钢的结构，它受力的承载能力大，不易变形；环式支承的环有板做的，还有型材做的，同样厚度和同样材料的情况下，型材做的比环板做的受力情况要好很多；就是对于板做的环，它所需要的厚度也远小于圆板结构的支承。并且环式支承最简单，材料最省，所以被广为使用。

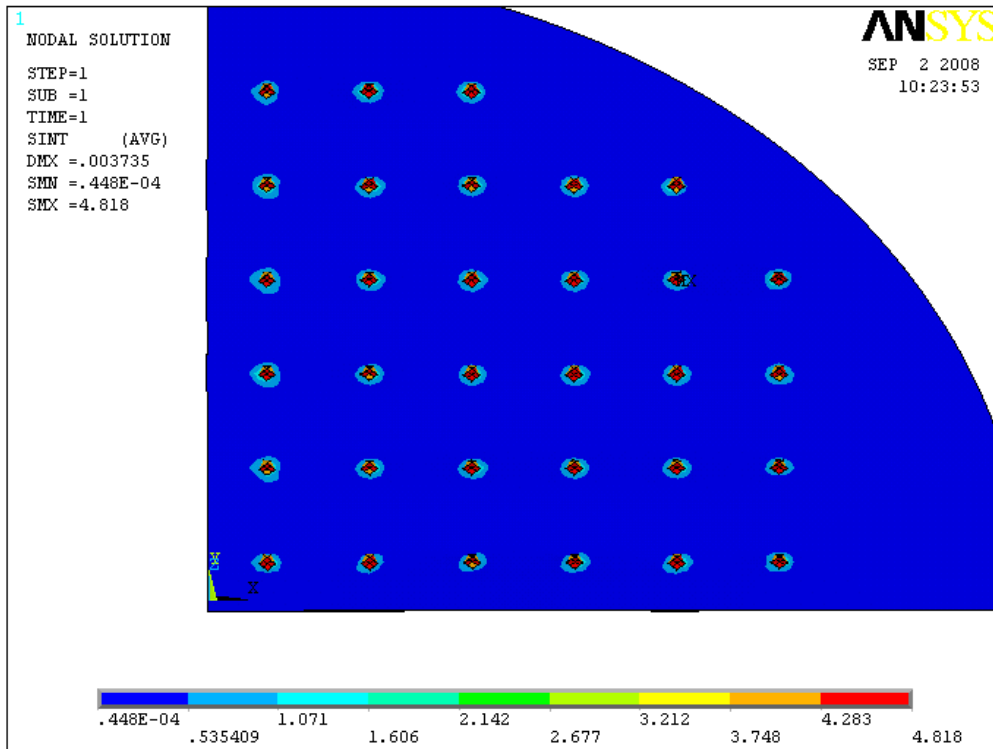
当然，对于不同条件的设计，要选用不同结构的支承：梁式支承有一定的方向性、环式支承只能用于自支承良好的内件支承（或是与其它支承配合使用）等等方面，大家在设计选用时要谨慎考虑。

3.2.2 塔板挠度的计算

筛板塔的塔板我们一般采用上下固定圈进行固定，相邻的两块塔板中间有多个螺栓来进行定位和支承，其挠度的计算我们采用的也是应力分析的方法。下面就是 $\phi 4800$ 直径的塔板挠度计算图和应力分析图：



挠度计算图



应力分析图

从上图的结果我们可以看出，最大挠度仅 0.003735mm，最大应力仅 4.818MPa，我们的设计安全性是足够了。

· 先进的工艺制造是精馏实现的关键条件 ·

精馏的实现，不仅依赖于可靠的设计，先进的工艺与制造更是精馏得以实现的保障；可以说，先进的工艺与制造是精馏实现的关键！

为了把设计实现于设备，设计人员在设计时尽可能考虑详尽，给予了足够的可能和保障；为了把设计实现于设备，工艺与制造人员也尽可能考虑周密，忠于设计，发挥设计。

卧装是杭氧生产精馏塔的常见制造方式，这种制造用滚轮架做工具，用保证水平度和直线度的方法来保证塔的垂直度；它不仅简单、方便，而且塔内垃圾易于清除，塔内的清洁度和含油量容易控制；最重要的一点是，塔的制造与检验都在人力所触及的范围内，能够及时发现并解决问题，就地解决问题。这种制造方法被广泛应用在筛板塔和填料塔的生产组配安装上，被广为推崇。

立装也是杭氧生产精馏塔时经常采用的制造方式，它利用吊机做工具，把塔内件逐一进行安装；立装组配精馏塔的时候，人往往站在塔外的安装平台上进行观察，用安装工艺模具把相应的塔内件安装在相应的位置上；对于检验和修正等工序进行的时候，人通常需要搭建平台，做好塔内件的保护才能进行；但是，立装的塔，是最接近于实际运行状况的，立装状况的好坏最能反映现场的实际运行问题，所以，在大型的填料塔安装和一些筛板塔的安装上，立装工艺应用得越来越广泛。

· 大型空分设备之精馏塔成功的几点总结 ·

杭氧大型空分设备之精馏塔发展成功的“秘诀”，归结起来有这么几点：

第一，公司领导的重视、理解、支持和果断决策，是开发大型精馏塔成功的必备条件。

开发大型精馏塔的任务之重、风险之大是难以想象的，设计人员的心理压力很大，如果没有领导的理解与支持、没有领导层面对重大问题的果断决策做“定心丸”，设计人员设计时就不能放开手脚，新技术也只能停留在理论阶段，得不到实践的检验。

第二，用户的认可和信任是杭氧精馏设计的必要前提。以往成功的先例打响了杭氧的品牌，也为我们赢得了用户的信任；我们进行大型精馏塔的开发正是用户对我们的认可才使我们有了展示自己技术水平的平台和验证自己技术水平的实践机会。

第三，勇于吸收，大胆创新是杭氧精馏设计技术进步的关键。杭氧在与多家外国公司进行合作的过程中，吸取了很多宝贵的经验；我们跨越了从实物到理论的消化吸收阶段，不断开拓进取，如今在技术水平上已经跻身世界先进的行列。

第四，经验与知识结合型的人员结构是杭氧技术进步的强大力量。近年来，杭氧在注重人才培养的同时又不断吸纳各种高级人才，使得杭氧形成了经验与知识结合型的人员结构，在科研开发和技术创新方面的力量被不断加强；加之杭氧人一贯拥有吃苦耐劳和认真钻研的精神，杭氧才有了今天的成就。

第五，上下一致、全体重视，是杭氧大型精馏塔成功的最重要因素。设计人员尽心竭力选取最佳设计、工艺人员反复思量寻找优秀路线、制造人员尽心尽责按要求实施，才造就了一个个合格的塔设备，成功完成了一个个的空分项目。

大型精馏塔在杭氧的发展总体来说是成功的，但我们必须清醒地认识到，与国内外同行业相比，还存在着许多差距和不足，这些都是我们有待发挥、有待优化、有待进步的空间。

工业的现代化发展，迎来了空分设备的革新时代；精馏塔的大型化发展，对运输、制造、尤其是设计都提出了更高的要求：为了节能降耗、消除塔的放大效应、利于运输、便于车间制造等，我们的设计水平都需要更进一步提高。

近年来，杭氧采用筛板型下塔、其余填料塔的设计结构，基本做到了高的性价比，赢得了广大用户的一致好评；我们应该在此基础上，把精力主要投入到开发新结构型式的塔盘和研究现有结构型式塔盘的优化上。

相信不久的将来，杭氧的精馏技术会站在世界的最前列，杭氧会生产出高效率、多产出、低成本、低消耗的“高档产品”，为现代化工业的发展贡献更多的力量！