

各型氨合成塔内件比较

(杭州林达工业技术设计研究所 楼寿林)

本文主要经过一系列的设计计算并根据操作记录,对工艺性能主要是合成效率,作了计算分析,分别对各典型氨合成塔内件作了一些比较。

氨合成塔出口氨含量,随合成压力增加而升高,随入塔气空速增加和惰气含量增加而减少,其定量关系可使用以下关联式:

一、计算关联式:

氨合成塔出塔氨浓 y_a 与空速 W 可由下列伏尔考夫式表示:

$$y_a = A \cdot W^{-0.278}$$

系数 A 与合成压力 P 和合成气中惰气含量 y_i 有关,由 Sammel strelzoff 等文献得:

$$\text{在 } y_i = 0.05 \sim 0.1 \text{ 时, } A = 2.869 \times [1 - 0.0262 \times (30.0 - P)] \times [1 - 1.492 \times (y_i - 0.05)] \text{ ----(1)}$$

$$\text{在 } y_i = 0.1 \sim 0.25 \text{ 时, } A = 2.223 \times [1 - 0.0262 \times (30.0 - P)] \times [1 - 1.925 \times (y_i - 0.2)] \text{ ----(2)}$$

用上述公式,可计算不同氨合成塔,在不同操作条件下的出塔氨含量计算值,再以此计算值来评定该塔实际出塔氨浓是否达到该值。

二、各塔型介绍

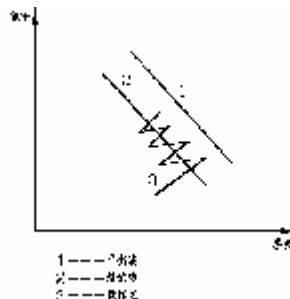
1、YD型: 典型的全轴向冷激式氨内件

(1) 工艺特点: 触媒层分四段,各段均进行绝热反应,上下二段间加入冷激气与热气混合降低段间反应气温度供下段反应。在温度—氨浓图上的操作线呈锯齿阶梯形。

(2) 主要优点: 结构简单,无冷管热应力问题,无段间换热器而占空间,可多装触媒,各床层均可用冷激气单独调温,方便灵活。

(3) 主要缺点:

① 采用段间冷激气降温的同时稀释了反应气中的氨浓度。在氨触媒活性相同和氨产量相等条件下,因冷激的副作用,氨净值要降低 1.5~2%,提高进塔气温和氨净值等节能措施都与冷激的冷却作用相矛盾。为了提高热回收率和能位,需提高入塔气温,但当合成塔段间需降低一定温度时,随着冷激气温的提高,冷激气量也随之增加,对氨浓的稀释作用更大。(详见梅安华主编的《小合成氨厂工艺技术与设计手册》化学工业出版社)。



- ② 各段床层均通入含微量毒物的新鲜气，上部催化剂不能充分发挥对气体的把关净化作用，故只适用于净化气体质量较高的生产厂。

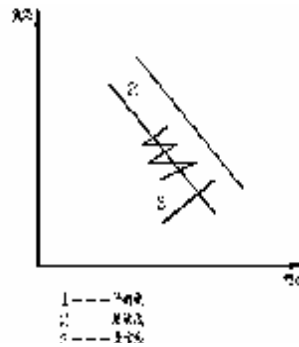
冷激型氨合成塔由于具结构简单、触媒装量较多的优点且易大型化，故一度曾被广泛选用。但由于冷激塔在冷激反应气的同时降低了反应气中氨含量，因而近年来国外一些冷激塔已改成了间接换热的间冷型塔，如 Tops Φ e—100 冷激型改成 Tops Φ e—200 间冷型塔后，氨净值有明显的提高，连最有代表性的 Kellogg 冷激塔亦已在改造为间接冷却型氨塔。

- (4) 使用情况：国内 YD 型塔，曾在不少中小型合成氨厂使用。

河南安阳化肥厂 Φ 1000 塔，日产超过 300 吨氨，氨净值达 13.9%，但是合成压力已超过 30Mpa 多，空速也达到 $24000h^{-1}$ 多， CH_4+Ar 也较低。据说目前该厂已将其改用其他内件。另外，如沾益化肥厂，在全国“813”工程中选用 YD 型 Φ 1000 合成塔，且用了二塔，但目前均未达到设计能力。

2、JR 型氨内件：典型的分段绝热反应段间间接换热合成塔：

- (1) 工艺特点：具有三段绝热触媒层，段间有三个列管换热器，分设在 I—II 段，II—III 段和 III 段下部，下部和中部换热器的冷气成串联，亦可单独将冷气直接引入中部换热器，而上部换热器冷气则单独引入。JR 型与清华二轴一径间接换热氨内件属同一类型，主要区别是：清华型是第三段触媒为径向以减小塔阻，JR 型中、下二个换热器为串联，清华为并联分流。在温度—氨浓图上操作线呈台阶形。



- (2) 主要优点：克服冷激型冷激降反应气温度所引起稀释氨浓的缺点。段间换热降温不会稀释氨浓，且有三支冷副线调节三个床层温度较方便。
- (3) 主要缺点：各段间设有换热器，触媒被分隔成三个床层，不仅段间换热器占据可贵的高压空间，减少触媒装量，但结构复杂，装卸触媒困难。
- (4) 使用情况：JR 型内件，至今有数十家厂使用，主要在河北省。

河北井陘县化肥厂 Φ 600JR 型塔，在 29.5Mpa 下，小时产氨 3 吨；河北青县化肥厂 Φ 600JR 型塔，装触媒 4.9 吨，在压力 27Mpa， CH_4 14%，10 机产碳氨 300 吨左右；石家庄市联碱厂 Φ 1000JR 型塔，触媒设计容积 $5.52M^3$ ，配塔前预热器 $F=210M^2$ ，日产氨 130 吨左右，进塔压力已达 28Mpa，循环气中惰气 18%，新鲜气 9—9.5 机（4M8）机，进口氨 2.2%，氨净值 12.5%。

3、NC 轴径向型：冷激和段间间接换热，轴向—轴径向结合

- (1) 工艺特点：

- ① 三段绝热床层 I—II 床间冷激，II—III 床间间接换热结合
- ② 气体分流，层间换热器出气和塔孔换热器分流出气均去第一床触媒进口
- ③ 冷激气和 II—III 床换热气均为冷气
- ④ I—II 段间操作线下斜

(2) 主要优点:

- ① 与 YD 比, II—III 段间用间接换热减少氨浓稀释
- ② III 段径向降阻力
- ③ 无冷管
- ④ 分流方便各段调温并降低阻力 (冷激气、冷却气与主线气分流)

(3) 主要缺点:

- ① I—II 段间冷激稀释氨浓, 氨的 P 旧, 冷激气温度 200°C, 占总气量 25%。
- ② II—III 段间间接换热器, 使触媒成不连续床, 结构复杂, 触媒装量少
- ③ 需配塔外换热器

(4) 使用情况: 典型使用厂, 如陕西兴平 (《氨醇》97, 7, P107):

#2, $\Phi 1000$ 塔增设塔外换热器和部分氨分离设备, 装触媒 5.9M³, A301, 在 P_{λ+Δ}=30Mpa, V_λ=14~5NM³/h, CH₄10.5~12%下, V_g=24000h⁻¹, y_a=3%, Δy_a=13%, 产量为 13T/时, 312T/月。兴平为油制气, 循环气 CH₄低, Ar 更少, 计算机控制。

4、IIIj 型 (见氨醇 P73) 内冷间接连续换热—冷激, 轴—径向结合

(1) 工艺特点:

- ① 四床层, 第三床内冷, 一、二、四床绝热
- ② 一、二床用三床内冷管出气冷激, 二、四床间用三床内冷管内冷
- ③ 分流 1/3 气, 作三床内冷管后补到一、二床

(2) 主要优点:

- ① 气体分流降低阻力
- ② 二、三、四床间不用冷激气稀释氨浓, 内流孔间冷, 结构简单, 成连续床

(3) 主要缺点:

- ① 三段用并流内流出三段温度难拉低, 影响内四级绝热层提高
- ② 一、二段间用冷管出气温度 180°C 左右, 比用进塔低温气~50°C 增加冷激气量, 即增加氨浓稀释程度 (见《小氨设计手册》下, P205)

批注 [Lou1]:

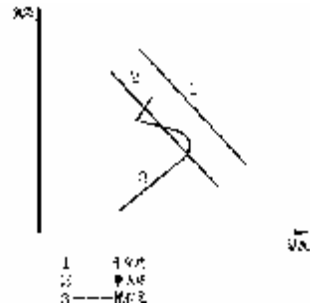
(4) 使用情况: 典型使用厂, 山东鲁西 (见《氨醇》P89)

流程: 塔前循环机冷交后分氨, 塔外换热器分流, $\Phi 1200$ 塔, H=18750mm, V_K=11.4M³至 31.6 吨, $\Phi 1000$ 和 $\Phi 1200$ 各一台, 平均日产 510~520T/日, P=20Mpa, $\Phi 1200$ 系统开 TC620 一台, CH₄16~17%, y_a=3%, 据算, 单开 $\Phi 1200$, TC620 一台时日产氨, 按日产氨和 V_λ反算 Δy=12%。

5、节能冷管和佳温型内件 (JL、JW 型)

我们开发设计的氨合成塔内件已有廿年。早在 1981 年, 我在为浙江江山化肥厂设计的氨合成塔中, 创新地设计了一种冷管胆相对独立, 并在使用中可自由伸缩的双环向并流换热的冷管型内件, 成功地解决了过去冷管型内件中冷管易拉裂的难题。后来我校把这一特点的结构用于不同大小规格和不同流程的氨塔内件上。如今我校这种氨合成塔内件已有千余台在全国应用。1996 年我又在原有基础上改进设计了 JL 型节能冷管型内件。如今 $\Phi 600$ 、 $\Phi 800$ 、 $\Phi 1000$ 、 $\Phi 1200$ 的 JL 型内件已出厂成功使用。后来又进一步开发了 JW 佳温型氨合成塔内件并获得了国家专利, 并已获准注册了商标。

(1) 工艺特点：触媒层不分段成为单个连续床层，上部主反应区设置内冷移热，使反应逼近最佳反应温度线进行。在温度—氨浓图上为操作线接近最佳温度线进行。下部为绝热触媒床，以消除冷管效应，提高氨净值。其中 JL 型内件冷管为折流型，整个触媒层温差小。JW 内冷管为逆流型，进冷管气体与管外气体逆流换热。



JL 型对较大塔径的内件，用双层套装冷管胆相对独立，使冷管分布均匀，减小同平面温差，又便于加工检修。另外，采用二合一新颖密封结构，装卸触媒方便，现场无需焊接。具体特点还可参考乐至氮肥厂等厂 JL 型内件使用小结。

(2) 这种新型的节能冷管型内件具有三方面特点：

- ① 完全不用冷激气降温。因此避免了冷激型内件（如 YD 型）冷激气降温带来稀释反应气中氨浓的不利后果，提高了氨净值，有利于反应热的利用，又防止了含有害毒物的新鲜气直接进入中下层触媒，造成对触媒活性的影响。
- ② 触媒不分段而成上下一体的连续床层，没有 JR 型这类内件在二段触媒间的换热器，避免了既占据高压空间，又减少触媒装量，又造成结构复杂，装卸触媒困难的问题。
- ③ 解决了老式冷管型内件存在的问题：
 - a: 解决冷管效应问题。即床层中心处和冷管壁处径向温差和浓度差的影响，由于冷管效应主要在温差，且在床层下部减轻。我们新型内件，利用设置下绝热层和提高冷管分布的均匀性，达到同平面温差 $<5^{\circ}\text{C}$ ，冷管效应不再显示影响。
 - b: 解决不易还原问题。老冷管型塔气体先进冷管再到中心管，在触媒还原时，冷管段触媒被管内气体冷却难于提温，造成触媒还原不彻底，活性受影响。新型内件，气体先进中心管再到冷管内，管内热气在还原中对触媒加热，因此触媒，很易还原彻底，提高活性。
 - c: 解决温差应力问题。新内件设计成冷管胆可自由伸缩结构，并可单独更换，结构可靠。
 - d: 解决温度调节问题。除用冷副线外，增加到触媒床进口的冷气线，和用冷管胆进气和下部换热器并联，通过调节气量比例来调温。
 - e: 解决阻力问题。对于大塔径长塔，下部绝热层用径向，整个触媒床仍为一连续床层，既保持结构简单特点又降低阻力。

因此节能冷管型内件，具有其他塔型的优点，又解决了其他塔型和老式冷管内件的缺点，具有工艺性能优良，氨净值高，节能降耗而又结构简单可靠的优点。

二、 计算结果：

厂名	型号	触媒装量 M ³	入塔气量 NM ³ /h	空速 h ⁻¹	压力 MPa	气体成分 %					
						CH ₄	CH ₄ +Ar	NH ₃ 进	氨净值	NH ₃ 出	NH ₃ 出计算值
四川乐至	JLΦ1000	4.4	36850	8375	22.0	23.5	27.5	1.3	14.5	15.8	12.2
兴平	NCΦ1000	5.9	146000	24746	29.5	7.1	11.4	3.1	12.8	15.9	15.4
鲁西	IIIjΦ1200	11.4	176000	15439	27.5	16.0	20	3.0	12.8	15.8	14.2
Kellogg	Φ3175	64.2	622606	9698	150	10.5	13.6	2.1	10.1	12	11.8

三、 计算结果分析：

上述五种氨合成塔由其操作条件、合成压力、空速和惰气浓度，用关联式算得出塔氨含量，其中 Kellogg 型实际出塔氨浓与计算值一样，其余三者实际值比计算值要高，说明这些内件工艺性能均优于全冷激型，而三者之中又以本所设计的实际值高出计算值最多。

在七十年代，冷激型曾在国外广泛采用，但 90 年代来，一些国外大型氨厂为提高出塔氨含量，先后将冷激式改为间接换热式，如 Topsφe、Uhde、Casale、甚至 Kellogg。现在国内上述二种塔型将二~三段间由冷激改为间接换热，这也是出于为减少冷激气对氨浓度的稀释的影响考虑；但是由于在一~二段间仍用冷激，而且是用 180℃ 左右的冷激气，由于冷激气温度高，故要冷激到二段进口温度时所需冷激气量增加，因此对出塔氨浓的影响较明显。

现在，我们上述四川乐至所用的 JLΦ1000 我们设计的氨合成塔完全不用冷激，而是用间接换热，全部触媒床层为一连续床层，装卸触媒方便，操作稳定性好。