

氨合成塔

湖北化工设计院主编

石油化学工业出版社

81.39
579
C.2

氨合成塔

湖北化工设计院 主编

3534/1

石油化学工业出版社



内 容 提 要

本书总结了国内氨合成塔的内件结构型式，工艺和设备设计计算方法，工艺操作条件的选择；对于氨合成塔的触媒、电加热器、材料的选择和制造、安装、维护等方法以及国外氨合成塔的进展情况，也作了介绍；书中还附了常用的计算数据图表。

本书供从事氨合成塔工艺和设备设计人员阅读，也可供制造、安装、生产、研究和教学部门的有关人员参考。

氨 合 成 塔

湖北化工设计院 主编

*

石油化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₁₆印张36字数863千字印数1—9,250

1977年12月北京第1版 1977年12月北京第1次印刷

书号15063·化178 定价2.85元

内 部 发 行

前 言

英明领袖华主席为首的党中央作出了抓纲治国的战略决策，全国形势一派大好。农业学大寨、工业学大庆的群众运动广泛开展。为了响应华主席的号召，加速实现农业、工业、国防、科学技术现代化，把我国建设成为一个伟大的社会主义的强国。化肥战线的广大职工认真贯彻执行《鞍钢宪法》，大力开展技术革新和技术革命，为了汇集氨合成塔的技术革命和技术革新成果，以便总结推广先进成熟可靠的设计，并供从事氨合成塔工艺和设备设计、制造、安装以及使用研究、教学等部门的工人和技术人员、师生参考，适应广大工人、革命干部和技术人员开展“三结合”设计的需要。在石油化学工业部石油化工规划设计院的领导下，由湖北化工设计院组织石油化学工业部化工设计院、安徽省石油化工设计院、兰州化学工业公司设计院、四川省第一化工设计院、吉林化学工业公司化工设计院、上海化工局设计室、四川省第二化工设计院、大庆石油化工总厂设计院、山东胜利石油化工总厂科研设计所、辽宁省石油化工设计院、湖南省化工设计院、哈尔滨锅炉厂、南京化学工业公司氮肥厂、成都工学院、兰州化学工业公司化工机械研究所、广东化工学院、南京化工学院、华东石油学院等单位共同编写了《氨合成塔》。

在编写过程中，组织六个小组，在全国分区进行了调查，共调查了近四十个生产厂、十四个设计院、十四个制造厂、四个科研单位、七个高等院校，将所收集的资料加工整理，反复讨论共同编写，最后由湖北化工设计院黄文雄、徐荣皋等同志整理汇总。

《氨合成塔》一书着重介绍国内的技术革新和技术革命成果，以及常用的设计计算方法，内容力求全面，叙述尽量简明通俗。

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，也介绍了一部分国外氨合成塔的发展情况及其特点，供我们工作中参考。

由于我们学习马克思主义、列宁主义、毛泽东思想不够，业务水平较差，了解情况有限，同时时间仓促，而氨合成塔生产和发展日新月异，因此本书一定有不足和错误之处，热忱希望广大读者提出宝贵意见，以便今后修改和补充。

在《氨合成塔》的编写和调查过程中，许多单位不断给予热情帮助和指导，提供了许多宝贵意见和原始资料，在此致以深切的谢意！

《氨合成塔》编写组 1977年

目 录

前 言

第一章 绪 论

- 第一节 氨合成塔在合成氨生产中的作用… 1 第三节 国内氨合成塔的发展概况…………… 5
第二节 对氨合成塔设计的基本要求…………… 4

第二章 最适宜的工艺操作条件

- 第一节 触媒层温度分布……………10 第四节 氢氮比……………14
第二节 压力……………11 第五节 惰性气体的含量……………14
第三节 空速……………13 第六节 初始氨含量……………15

第三章 触 媒

- 第一节 国内外触媒的基本性能……………16 三、触媒还原的经验……………38
 一、触媒的成分及其作用……………16 第四节 触媒还原理论出水量的计算……………39
 二、触媒的性能……………18 第五节 触媒钝化……………40
第二节 触媒型号、颗粒大小的选择 一、触媒钝化的意义……………40
 和装填……………23 二、钝化触媒条件的讨论……………40
 一、触媒型号的选择……………23 三、钝化方法……………41
 二、触媒颗粒大小的选择……………24 四、钝化度的计算……………41
 三、不同触媒层高度触媒颗粒大小 五、触媒钝化后再还原及预还原……………41
 的分配及装填实例……………24 第六节 触媒的衰老和中毒……………42
 四、触媒装填方案……………26 一、触媒的衰老……………42
第三节 触媒还原……………28 二、触媒的中毒……………42
 一、影响触媒还原的因素……………28 三、触媒的使用时效……………42
 二、触媒还原各阶段的划分和控制 第七节 触媒的维护与保养……………45
 指标……………31

第四章 内 件

- 第一节 触媒筐设计的一般要求……………46 第四节 多层轴向绝热式触媒筐……………83
第二节 触媒筐的类型……………46 一、多层轴向冷激式触媒筐……………84
第三节 单层轴向内冷式触媒筐……………47 二、多层轴向中间换热式触媒筐……………93
 一、单管逆流式触媒筐……………48 第五节 径向触媒筐……………94
 二、并流双套管式触媒筐……………49 一、特点和应用范围……………94
 三、逆流双套管式触媒筐……………53 二、绝热径向触媒筐……………95
 四、并流三套管式触媒筐……………54 三、内冷式径向触媒筐……………96
 五、U形管式触媒筐……………62 第六节 复合式触媒筐……………105
 六、单管并流式触媒筐……………67 一、轴向-径向复合式触媒筐……………105
 七、单管折流式触媒筐……………81 (一)一轴二径复合式触媒筐……………105

32961

(二)二轴一径复合式触媒筐·····	110	求及特点·····	163
二、绝热冷激-内冷复合式触媒筐·····	112	(一)换热器设计的一般要求·····	163
第七节 副产蒸汽氨合成塔·····	115	(二)合成塔内换热器的共同特点·····	163
一、塔内副产蒸汽氨合成塔·····	116	三、列管式换热器·····	163
二、外置式副产蒸汽氨合成塔·····	122	(一)流向·····	163
第八节 卧式氨合成塔·····	133	(二)使用情况及强化传热方法·····	164
第九节 球形氨合成塔·····	134	(三)设计中应注意的问题·····	168
第十节 双进双出两次合成塔·····	136	(四)管子的排列与管数的计算·····	168
第十一节 决定触媒筐外形尺寸的步		(五)折流板·····	170
骤和方法·····	149	四、螺旋板式换热器·····	172
一、触媒筐型式的选择·····	149	(一)气体流向·····	173
二、触媒筐工艺指标的选择·····	150	(二)特点·····	173
三、触媒筐的直径和高度·····	154	(三)目前各厂使用情况·····	174
四、绝热层高度·····	155	(四)机械尺寸的确定·····	175
五、冷管的选型和配置·····	156	(五)螺旋板式换热器的结构特点	
六、中心管的选择·····	157	及其形式·····	175
七、温度计套管的设计·····	157	(六)设计中应考虑的问题·····	179
八、分气盒或集气环·····	158	(七)螺旋板式换热器螺旋通道长	
九、折流头高度·····	159	度及换热面积的计算·····	180
十、保温型式及其厚度·····	159	五、波纹板式换热器·····	181
十一、环隙·····	160	(一)气体流向·····	181
十二、热膨胀间隙·····	161	(二)波纹板式换热器的特点·····	182
十三、顶盖密封·····	161	(三)使用情况·····	183
十四、电加热器容量·····	162	(四)波纹板式换热器的结构特点	
第十二节 合成塔内换热器·····	162	及其型式·····	184
一、简介·····	162	(五)圆形波纹板式换热器设计中	
二、合成塔内换热器的一般设计要		需考虑的问题·····	186

第五章 电 加 热 器

第一节 电加热器的作用及其常用结		质及适用范围·····	194
构型式·····	187	第三节 电加热器功率的确定·····	194
一、电加热器设计的一般要求·····	187	第四节 电热元件的电气计算·····	196
二、电加热器的结构型式·····	187	一、电加热器功率的计算·····	196
(一)直挂式·····	187	二、电加热器端电压的选择·····	196
(二)双路螺旋式·····	190	三、电加热器相数的选择·····	197
(三)盘式·····	190	四、电加热器的温度调节方式·····	197
三、直挂式电加热器结构型式的选		五、电热元件的计算·····	197
择·····	190	六、计算例题·····	198
第二节 电加热器材料的选择·····	192	第五节 螺旋形电炉丝的螺旋绕制计	
一、电热元件材料的一般要求·····	192	算·····	199
二、电加热器材料的选择·····	192	第六节 安全打气量的计算·····	200
三、金属电热材料的化学成份、性		第七节 电加热器的制造和安装维护·····	203

一、对电加热器零件的加工要求	203
二、电加热器的制作和安装	206
三、电加热器的维护和修理	207
第八节 增加电加热器功率的措施	208
第九节 附录	210

一、部分氨合成塔电加热器主要技 术性能汇总表	210
二、感应电压调整器技术规格汇总 表	211

第六章 内件工艺计算

第一节 基础数据的计算	212
一、高压下含氨混合气体物性数据 (比热, 导热系数及粘度)	212
二、反应热	217
三、氨合成反应平衡常数和氨平衡 浓度	218
四、最适宜温度	219
五、氨合成反应速度	220
六、活性系数 E_r	223
七、混合气体的压缩性	226
八、内表面利用率	227
第二节 氨合成塔的物料和热量衡算	229
一、氨合成塔的物料衡算	229
二、氨合成塔的热量衡算	230
第三节 触媒筐的工艺计算	236
一、触媒筐内各项给热系数计算	236
二、触媒用量和触媒层温度、浓度 分布计算概述	237
三、计算氨含量法	238
四、各种结构型式触媒用量和温度 分布计算	239
五、微分法	253

六、轴向塔触媒层冷管排列计算	270
七、轴向塔触媒层的径向温度分布 估算	273
第四节 换热器的计算	274
一、列管式换热器	274
二、螺旋板式换热器	276
三、波纹板式换热器	280
第五节 废热锅炉	282
第六节 阻力计算	283
一、触媒层阻力	283
二、热交换器阻力	284
三、电加热器阻力	287
四、其它阻力计算	288
第七节 径向塔内气体分布计算	290
一、锥形分布器	290
二、不等小孔分布器	292
三、不同孔数的分布器	295
四、例题	296
第八节 生产实践的反算	301
一、数据的整理	301
二、触媒层传热系数 K_{Ro} 的反算	301
三、触媒活性系数 Z_r 的反算方法	302

第七章 材 料

第一节 氨合成塔材料的选择	303
第二节 氢、氮、氨混合气对钢材的 腐蚀	303
一、钢的氢腐蚀	303
(一)氢对钢的性能和组织的影响	303
(二)氢腐蚀的机理	304
(三)影响氢腐蚀的因素	309
(四)氢腐蚀试验方法的一些问题	316
二、钢的氮腐蚀	317
第三节 外筒材料	321
一、简介	321

二、国内氨合成塔外筒各零部件曾 经使用和建议采用的部分材料	323
三、氨合成塔部分锻件锻造工艺性 能	323
四、氨合成塔用碳素钢及普通低合 金钢热轧厚钢板主要加工工艺 性能	325
五、氨合成塔用钢材高温性能推荐 值	327
六、国外氨合成塔外筒用材概况	334
第四节 氨合成塔内件及废热锅炉用	

材·····	336
一、对内件用材的基本要求·····	336
二、国内氨合成塔内件各零部件曾经使用和正在使用的部分材料·····	337
三、内件材料的使用情况·····	337
四、使用1Cr18Ni9Ti设计中应考虑	

的问题·····	339
五、废热锅炉用材·····	339
六、内件焊接材料·····	340
七、保温铁皮用材·····	340
八、保温材料·····	340

第八章 氨合成塔的强度计算

第一节 氨合成塔外筒的结构和设计	
特点·····	342
第二节 筒体的设计和计算·····	343
一、圆筒形高压容器·····	343
二、球形高压容器·····	344
三、内压和温差同时存在时容器的强度计算·····	344
四、温差应力的计算·····	345
(一)单层圆筒形高压容器的温差应力计算·····	345
(二)组合圆筒形高压容器的温差应力计算·····	345
(三)单层球形高压容器的温差应力计算·····	346
(四)不计算温差应力范围·····	346
五、双层热套式高压容器的强度计算·····	346
六、安全系数和许用应力·····	347
第三节 密封和零部件的设计计算·····	349
一、平垫密封·····	349
二、双锥密封·····	352
三、卡扎里密封·····	353
四、O形环密封·····	359
五、N.E.C.密封·····	362
六、伍德密封·····	364
七、布里奇曼密封·····	366

八、B形环密封·····	369
九、三角垫密封·····	369
十、C形环密封·····	371
十一、八角垫密封·····	375
十二、零部件设计计算·····	378
(一)筒体顶部、端部法兰、结构形式·····	378
(二)结构尺寸的确定·····	378
十三、开孔补强设计·····	391
(一)等面积补强法·····	391
(二)整体补强法·····	392
第四节 氨合成塔内件强度计算(触媒筐筒体及底板的计算)·····	397
一、概述·····	397
二、计算方法·····	398
第五节 内件受压元件的强度计算·····	417
一、触媒筐上盖板的强度校核·····	417
二、螺栓应力校核·····	417
三、分气盒上下盖板的强度计算·····	418
四、换热器管板的强度计算·····	424
五、外压锥形底的计算·····	428
第六节 内件温度应力计算·····	430
一、壁温的计算·····	430
二、波纹膨胀节的计算·····	431
三、填料函·····	433
四、附录·····	434

第九章 氨合成塔的制造

第一节 原材料的检验·····	438
第二节 原材料的矫形和净化·····	438
一、矫形·····	438
二、净化·····	439
第三节 氨合成塔外筒的制造·····	439
一、单层卷焊式氨合成塔外筒的制造·····	439

二、层板包扎式氨合成塔外筒的制造·····	442
三、槽形绕带式氨合成塔外筒的制造·····	444
四、扁平钢带倾角错绕式氨合成塔外筒的制造·····	447

五、热套式氨合成塔外筒的制造·····	448	六、列管式换热器的制造·····	457
六、绕板式氨合成塔外筒的制造·····	449	七、螺旋板式换热器的制造·····	458
第四节 氨合成塔内件的制造·····	450	八、波纹板式换热器的制造·····	459
一、三套管式触媒筐的制造·····	450	第五节 氨合成塔的检验·····	460
二、单管并流式触媒筐的制造·····	452	第六节 氨合成塔的试压·····	461
三、U形冷管式触媒筐的制造·····	453	第七节 附录 $\phi 1000$ 毫米氨合成塔	
四、鼠笼式径向触媒筐的制造·····	454	内件制造技术条件·····	463
五、螺旋冷板式径向触媒筐的制造·····	455		

第十章 氨合成塔的安装和维护检查

第一节 氨合成塔的安装·····	467	(一)施工现场·····	473
一、施工前的准备·····	467	(二)设备运输·····	473
(一)施工前应具备的技术资料·····	467	(三)设备吊装·····	474
(二)施工前现场应做好的准备工作·····	467	(四)设备试压·····	474
(三)氨合成塔的运输和检验·····	467	(五)设备的组对和吹净·····	474
二、氨合成塔的安装·····	468	四、交工验收技术文件·····	474
(一)概述·····	468	五、附录·····	474
(二)底座的安装·····	469	(一)高压螺栓预紧力的计算·····	474
(三)外筒的安装·····	470	(二)氨合成塔的部分验收项目和	
(四)内件的安装·····	472	检验方法·····	478
(五)电加热器的试验·····	472	第二节 氨合成塔的维护和检查·····	482
(六)试车·····	473	一、氨合成塔的维护·····	482
三、安装安全技术·····	473	二、氨合成塔的检查·····	483

第十一章 国外氨合成塔内件结构发展概况

第一节 国外氨合成塔内件结构发展的主要特点·····	486	五、捷克斯洛伐克轴向冷激式合成塔·····	515
第二节 单层触媒的内件结构·····	488	六、卧式合成塔·····	516
一、逆流式内件结构·····	488	(一)伍德式卧式合成塔·····	516
二、并流式内件结构·····	492	(二)奥地利氮素公司卧式合成塔·····	516
第三节 多层触媒的内件结构·····	493	(三)凯洛格卧式合成塔·····	518
一、凯洛格轴向流动合成塔·····	493	七、绝热型合成塔·····	520
二、径向流动合成塔·····	505	八、立式多层间接换热式合成塔·····	525
三、轴向-径向流动合成塔·····	510	九、塔内副产蒸汽合成塔·····	526
四、I.C.I.轴向冷激式合成塔·····	511	十、球形合成塔·····	528

附 录

附表·····	532	附图·····	547
---------	-----	---------	-----

第一章 绪 论

第一节 氨合成塔在合成氨生产中的作用

氨的合成是一门发展较早、研究较深、且已有六十余年生产历史的典型的高压下多相催化反应过程。在生产实践中由于劳动人民不断研究改进，努力创造，对氨的合成在理论上有了更深刻的理解，在技术上得到较快的发展，使生产过程日趋完善。

氨合成塔通常被称为合成氨厂的“心脏”。它是整个合成氨厂生产过程中的主要关键设备之一。

经过精制的氢氮混合气体，在高压、高温和触媒的催化作用下，于合成塔内直接合成氨。

由于平衡的限制，氢、氮混合气体不能全部转化成氨，因此必须将已经合成的氨进行分离，然后将未经反应的氢、氮混合气体再次循环反应，同时不断加入新鲜补充气，连续生产。在循环时会产生少量惰性气的积聚，为了保持惰性气少于一定的含量，还必须不断进行放空，这样就组成了整个合成循环流程。实现这个循环过程，生产上采用了各种流程，但都具有下列同样的特点：即放空的尾气是系统中含惰性气体最高的；进入合成塔的气体中含有的水份与氨是最少的；合理地安排冷热交换；节省冷量；回收热能等。

近年来国内外氨合成装置流程的发展特点是：大量使用新型结构的内件强化氨合成塔的生产，同时采用大型氨合成塔；以蒸汽透平带动循环压缩机代替往复式循环压缩机；充分回收氨合成过程的能量，大幅度地减少电耗，降低成本。并且进一步研究了：氨合成的生产流程；氨合成操作压力的选择；氨合成塔内件结构；弛放气的回收；氨合成的触媒等问题。其中强化氨合成塔的操作，使之稳定持久地运行，是提高合成氨生产能力的中心问题之一。

当前国内外合成氨厂广泛采用的氨合成流程，有在循环压缩机前和循环压缩后分离产品液氨；在分离液氨的方案上，有采取一次分离的和两次分离的两种流程；在能量回收方案上，采用较多的是在合成塔后设置直接产生蒸汽的废热锅炉或锅炉给水预热器，也有在塔后设置膨胀机以回收能量的。

几种较典型的氨合成生产流程及其特点如下：

一、不副产蒸汽的氨合成系统流程，见图1-1-1。

二、副产蒸汽的氨合成系统流程，见图1-1-2；其特点是在循环压缩机前分离液氨，在合成塔后设置废热锅炉直接产生蒸汽，回收能量。

三、一次分离液氨的氨合成系统流程，见图1-1-3，其特点是在循环压缩机前一次分离液氨，在氨合成塔后设置锅炉给水预热器，以回收能量。

四、两次分离液氨的氨合成系统流程，见图1-1-4其特点是采用两次分离液氨的方案。在合成塔后设置锅炉给水预热器，以回收能量。新鲜气在氨冷器之前与循环气混合，在冷凝分离液氨的同时，也可以除去混合气中微量水分和二氧化碳。

五、回收能量的氨合成系统流程见图1-1-5，其特点是利用一部分气体的热能转化为

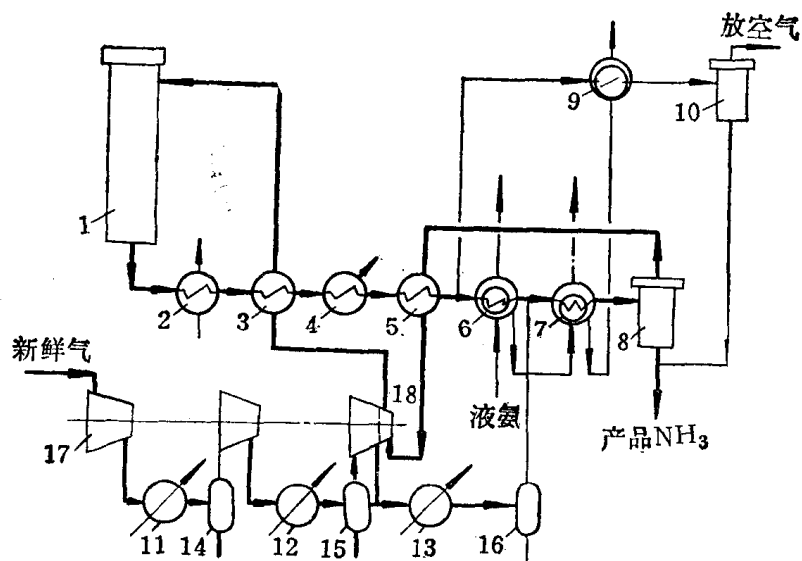


图 1-1-3 一次分离液氨的氨合成系统流程图

1—氨合成塔；2—锅炉给水预热器；3—热交换器；4、11、12、13—水冷器；5—冷交换器；6—第一氨冷器；7—第二氨冷器；8、10—氨分离器；9—氨冷器；14、15、16—分离器；17—离心压缩机；18—循环气压缩机

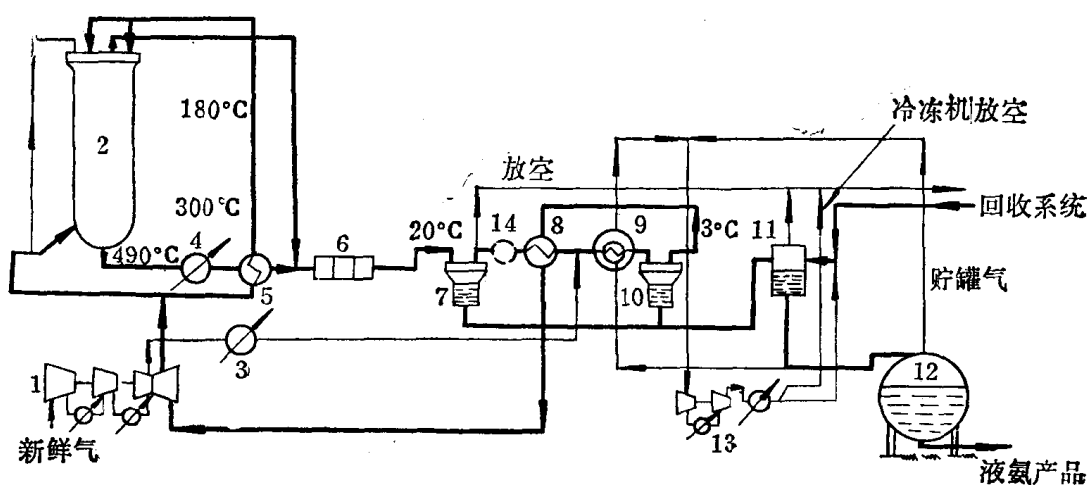


图 1-1-4 两次分离液氨的氨合成系统流程图

1—离心式合成气压缩机与循环机；2—冷激式氨合成塔；3—合成气冷却器；4—锅炉给水加热器；5—换热器；6—空气-水冷却器；7—第一液氨分离器；8—换热器；9—冷却冷凝器；10—第二氨分离器；11—液氨减压罐；12—液氨贮罐；13—冷冻压缩机；14—原来的循环压缩机位置

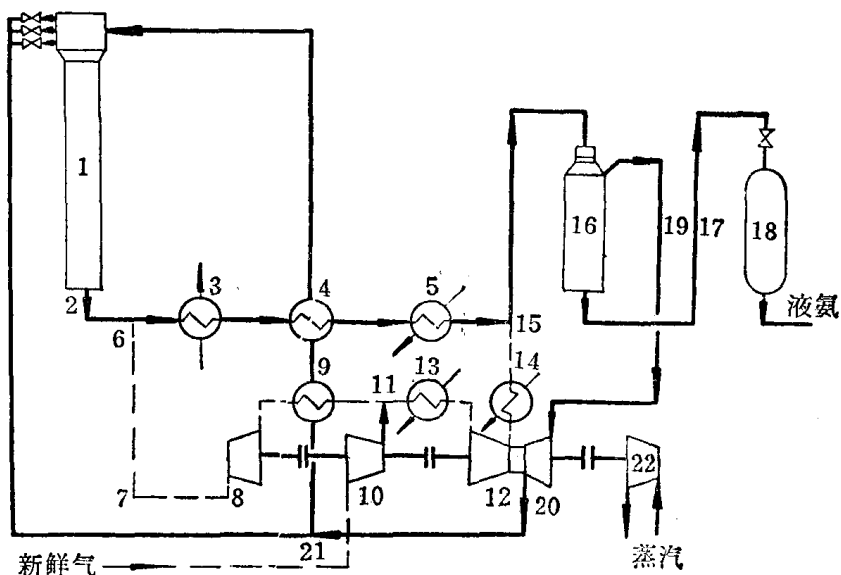


图 1-1-5 回收能量的氨合成系统流程图

1—氨合成塔；2—管路；3—废热锅炉；4—换热器；5—气体冷却器；6、7、17、19、21—管路；8—膨胀透平机；9—换热器；10—离心压缩机；11—管路；12—离心压缩机；13—气体冷却器；14—气体冷却器；15—管路；16—分离器；18—中间槽；20—离心压缩机；22—蒸汽轮机

第二节 对氨合成塔设计的基本要求

氨合成塔的工艺参数和结构型式的选择，既取决于所担负的生产任务和原料气的成分以及操作条件（如压力、温度等等），又与合成工段其它设备的能力大小和配置有关。各部件的具体结构和尺寸不仅取决于结构的要求，而且也取决于所选用的材料性能；强度和刚度的要求；制造和运输的条件；设备的投资和先进性等等因素。而这些因素往往是互相矛盾，互相联系的。在设计时我们必须遵循伟大领袖毛主席的教导：“……研究任何过程，如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话，就要用全力找出它的主要矛盾。捉住了这个主要矛盾，一切问题就迎刃而解了。”设计人员的任务就是要根据具体情况解决其主要矛盾，做出一个符合国情的，技术先进、经济合理的设计，求得在适宜的条件下，获得最高产量并确定其最佳工艺参数和结构型式及尺寸。

在氨合成塔设计过程中，一般应考虑下列问题：

一、容积利用率高。充分利用高压容器空间，多装触媒，使单位容积的生产能力尽可能的大。

二、触媒生产强度大。合成塔的结构型式应能保证触媒层在最适宜的操作条件下工作，充分发挥触媒的活性。

三、流体阻力小。一般轴向氨合成塔的阻力约占合成工段系统阻力的一半。阻力的大小直接影响到氨生产的能力和消耗定额。降低阻力是氨合成塔生产能力能否提高的关键之一。因此，应该在设计和操作合成塔时尽量降低合成塔的阻力，一般轴向合成塔的阻力 $\sim 70\%$ 是在触媒层的阻力上，因而降低触媒层的阻力尤为重要。过高的阻力非但对系统的正常生产不利，特别是对触媒筐筒体来讲也是不允许的，因为过大的阻力还将使触媒筐筒体压扁破坏而造成事故。

四、氨净值高，减少分离氨及循环机的负荷。合成塔在最适宜条件下操作时氨净值高，出口氨含量高，可以在较高的温度下分离氨，因此可以在很大程度上节省冷却设备。同时氨净值高，也降低了系统的循环气量，相应地降低了能量消耗定额。

五、气体分布均匀，处理气量大。在具有高的单塔生产能力的同时，也使整个系统在正常负荷下操作。

六、热能综合利用好。不是消极地在合成塔后冷却器中除去反应热，而是积极地利用反应热，补充氨生产和氨加工系统所需要的能源。以降低总的能源消耗。

七、操作方便，调节灵活，并尽量减少同平面温差或同圆柱面温差，充分发挥触媒的活性。

八、使用寿命长。一般要求氨合成塔外筒使用寿命20~30年，内件使用寿命6~10年。或更长更好。

九、结构简单，运行安全可靠。

十、制造、运输、安装、维护、检修方便。

十一、金属材料用量少。备料方便。

对于 $\phi 1000$ 毫米以下的氨合成塔，建议现阶段应着重研究进一步提高氨生产能力，降低阻力，多产氨，并能副产8~13公斤/厘米²蒸汽。对于 $\phi 1600$ 毫米~ $\phi 3200$ 毫米以上的氨合成塔，应着重考虑设备长期运转的可靠性、阻力损失小、气体分布均匀，以及制造、运输、安装的条件等等。

第三节 国内氨合成塔的发展概况

解放前，我国氮肥工业和其他工业一样，基础十分薄弱，技术落后，生产水平很低。全国仅有两家规模不大的合成氨厂，一家还由日本帝国主义者所经营。生产时断时续，完全处于瘫痪状态。氨合成塔的生产技术一直停留在三十年代的落后水平。

建国以来，在毛主席革命路线的指引下，贯彻执行“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”的总路线和大、中、小并举，土洋结合两条腿走路的方针，我国合成氨工业有了迅速发展。各种类型的合成氨厂星罗棋布，遍及全国各地。氨合成塔塔型有如百花齐放，并且正在不断推陈出新。短短的几年间，就设计和采用了三套管、单管并流、U形管、单管折流、径向、轴向-径向、冷激、冷激-内冷、两次合成、卧式、球形和副产蒸汽等新型氨合成塔。塔内换热器也采用了螺旋板式和波纹板式等高效传热设备。同时对列管式换热器进行了强化传热方面的改造。合理安排冷热交换，节省冷量，回收热能。使氨合成塔的生产能力大大提高，技术经济指标有所改善。赶上和超过了国际上同规格塔的先先进水平。

氨合成塔生产能力的不断提高，充分显示了我国工人阶级的创造才干和意气风发的精神面貌。正如伟大领袖毛主席教导的那样：“……**代表先进阶级的正确思想，一旦被群众掌握，就会变成改造社会、改造世界的物质力量。**”这是“**独立自主，自力更生**”方针的伟大胜利！是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利！

大跃进以来，特别是无产阶级文化大革命期间，广大工人、干部、技术人员通过学习毛主席哲学著作，以“**三结合**”的形式，在合成氨厂的**心脏**闹起了革命。针对各个合成系统流程的特点，开展了群众性的技术革新和技术革命，在合成塔的改造和设计中取得的经

验是:

一、增大触媒的填装容积, 提高氨合成塔的容积利用率

(一) 扩大触媒筐的内径

扩大触媒筐的内径, 既可多装触媒, 又可降低阻力。例如 $\phi 800$ 毫米的氨合成塔, 触媒筐内径由 $\phi 682$ 毫米扩大 10 毫米, 合成塔的产量就可以增加约 3%。因而在设计和制造中都应一个毫米一个毫米地争取。

1. 详细地进行触媒筐的强度和稳定性计算, 减薄触媒筐的壁厚。对轴向内冷式触媒筐, 如 $\phi 800$ 毫米氨合成塔触媒筐壁厚有的厂由原 16 毫米减为 14 毫米, 甚至 12 毫米。 $\phi 1000$ 毫米氨合成塔触媒筐壁厚普遍采用 16 毫米。

2. 采用新型高效的保温材料, 减薄触媒筐保温层的厚度。例如在 $\phi 800$ 毫米氨合成塔中采用无碱超细玻璃棉代替石棉布, 保温层厚度由 24 毫米减薄到 14~16 毫米。有的厂在 $\phi 500$ 毫米氨合成塔中采用高硅氧玻璃纤维, 保温层厚度由 22 毫米减薄到 11 毫米。

3. 提高触媒筐筒体的制造精度, 严格控制椭圆度和不直度, 以减少触媒筐和合成塔外筒内壁的环隙。如 $\phi 800$ 毫米氨合成塔的环隙, 目前较多采用为 12~16 毫米, 较原设计减薄 4~6 毫米。在有些生产厂自制的内件中, 曾将此环隙减薄到 9~10 毫米。

(二) 适当增加触媒的装填高度

增加触媒的装填高度, 虽可多装触媒, 但却带来阻力的增加, 而且触媒层太高, 不利于触媒层底部的还原, 影响触媒活性的发挥, 因而触媒筐的增长量需要根据阻力和合成率的综合计算来确定。增加触媒的装填高度采取的办法:

1. 取消分气盒。
2. 改进触媒筐和换热器的联接形式, 缩短其距离。
3. 用大颗粒触媒代替气体分布板上的钢球。
4. 缩短换热器高度:
 - (1) 采用新型高效的换热设备如螺旋板式、波纹板式换热器。
 - (2) 提高列管式换热器的传热效率:
 - 1) 减少轴向的气流泄漏。
 - 2) 采用小管径的管子。
 - 3) 采用变隔板间距。
 - 4) 采用密排管子, 缩小管间距。

(三) 增强触媒筐冷管的传热效果, 减少冷管的比表面积。

(四) 增加电加热器的功率, 使触媒还原彻底, 提高触媒活性。

通过上述改进, 目前在 $\phi 800$ 毫米, 容积 6.45米^3 的氨合成塔中, 触媒装填量由 $2.25 \sim 2.35 \text{米}^3$, 普遍增加到 $2.8 \sim 3.0 \text{米}^3$ 。容积利用率提高 $\sim 10\%$ 。触媒装填量增加 $\sim 30\%$ 。

二、降低阻力, 改善气体分布的均匀性

阻力小可以提高空速, 增加产量, 同时又可以装填高活性的小粒度的触媒, 提高氨净值。这是提高氨合成塔生产能力的关键问题之一。对于三套管列管式换热器的氨合成塔内各部分摩擦阻力与局部阻力共有二十多处, 而触媒层阻力约占整个塔内阻力的 60~70%。

因而应特别重视降低触媒层阻力。同时亦不放过对其它部分阻力的点滴改善。

(一) 降低塔内阻力

1. 降低触媒层的阻力:

(1) 改善触媒的形状, 采用磨角触媒以提高其球化程度。磨角后不仅使阻力系数下降, 而且还可多装触媒5~10%。

(2) 适当地采用大粒度触媒, 合理地确定触媒装填方案:

1) 向上层触媒要活性, 装小粒度触媒。

2) 向下层触媒夺阻力, 装大粒度触媒。

3) 从选择触媒颗粒的形状、装填时触媒的下落高度、填装速度、粒度大小和采用振动的方法等方面, 综合考虑触媒的活性、阻力与空隙度的关系, 控制空隙度。

(3) 扩大触媒筐内径, 增加通气截面面积。

2. 降低塔内其它部分的阻力:

(1) 列管换热器管内的麻花铁改为圆柱铁。

(2) 合成塔改为双出口。某厂 $\phi 800$ 毫米氨合成塔算得: 当通过90000标米³/时的循环气量时, 在单出口处将产生0.74公斤/厘米²的局部阻力, 而改为双出口后, 这一阻力将下降到0.16公斤/厘米²。

(3) 适当加大电炉中心管的内径。

(4) 减小电加热器内绝缘子的数量。

(5) 改善气体分布的均匀性, 防止偏流。

3. 采用双层并流触媒筐。

4. 采用径向触媒筐、薄触媒层及球形塔。加大触媒层的通气面积, 缩短气体流径路程。有的厂采用径向触媒筐, 塔的生产能力较原塔提高20~30%, 全塔阻力仅1~2公斤/厘米² (原轴向塔阻力为4~5公斤/厘米²)。有的厂 $\phi 800$ 毫米螺旋径向氨合成塔中, 塔阻力约7公斤/厘米², 比原三套管氨合成塔16~20公斤/厘米²降低了2~3倍。

(二) 降低合成系统的阻力

系统阻力 (除氨合成塔外) 从循环机出口到合成塔进口 (塔前) 约占系统阻力 (除氨合成塔外) 70%。设备阻力大小顺序为氨冷器、水冷器、冷凝塔、滤油器和氨分离器。单位管线长度阻力最大的是氨合成塔到水冷器进口这一段。

1. 合成塔到水冷器进口改为双管线, 增设冷凝塔一次副线。

2. 缩短合成塔出口到水冷器的管线距离。

3. 改进氨冷器的结构, 列管多排并列, 降低其阻力。

4. 改进冷凝塔内冷交换结构, 增设排污管线, 以便定时排油和蒸煮清洗。

5. 压缩机采用无油润滑, 取消滤油器等。

三、采用新型触媒, 改进触媒的还原, 充分发挥触媒的活性

(一) 国内已生产触媒活性较高的A₉, A₁₀型触媒。

(二) 采用小颗粒触媒, 提高触媒的活性。

(三) 改善触媒的还原:

1. 以水汽浓度作为主要控制指标 (< 1 克/标米³)。

2. 控制低的同平面温差或同圆柱面温差。
3. 还原初期实现四低四高：（低水汽浓度 <0.7 克/标米³），低同平面温差、低温多出水（累计出水量），低微量（ $\text{CO} + \text{CO}_2$ ）；高电加热器负荷，高空速，适当高的压力，高氢气浓度，使还原初期为获得细晶粒、活性高的触媒打下一个良好的基础。
4. 力争缩短还原主期的时间。
5. 还原后期力争近似地实现等温还原。
6. 采用二次副线。在还原后期提高触媒层尾部温度，减小轴向顶底温差及径向温差。

四、采用两进两出两次合成新工艺

某厂将触媒层分为上下两段，氢氮混合气经第一触媒层反应后引出塔外将氨分离后再到第二触媒层反应。使氨合成反应离平衡远，反应速度大，增加了氨合成反应推动力，氨净值达到24%，生产能力增加50%，减少循环气量 $\sim 60\%$ ，从而节省了循环机的投资和降低了电耗。

五、不断改进内件型式，改善温度分布，逼近最佳温度操作线

在内冷式轴向塔设计中采用了径向上具有等传热能力，轴向上具有不等的传热能力的冷却单元。在径向塔设计中采用了径向上具有不等传热能力，轴向上的同一圆柱面上具有相等的移热能力的冷却单元。创造了螺旋冷板的内件结构，同时改进操作，适当提高进口温度和热点温度，使温度分布逼近最佳操作线，以提高氨的产率和增加稳定性。

六、合理安排气体冷热交换，积极回收热能

使用内置式（即密闭循环多层盘管水冷却式）和外置式（包括后置式、中置式、前置式）副产蒸汽氨合成塔，副产5公斤/厘米²、13~15公斤/厘米²、25~30公斤/厘米²级的蒸汽，相应地副产0.5、 ~ 0.8 、 ~ 0.7 吨汽/吨氨，在年产15~30万吨氨合成塔的设计中，采用了锅炉给水加热器，也进行了对热能的综合利用，有效地回收了热能，降低了蒸汽消耗定额。

七、简化结构，提高合成塔运转的可靠性

（一）妥善处理各个零部件的连接保温，避免热应力的产生，让内件在塔内能自由胀缩等。

（二）采用冷激控制触媒层的反应温度，取消触媒层内复杂的冷却单元及分气盒结构。

八、实现氨合成塔内件整体一次吊装，采用液压拉伸器装卸主螺栓，缩短检修时间

在不断强化氨合成塔的生产的同时，氨合成塔的制造技术也迅速发展。1956年试制成功了我国第一台多层包扎式的 $\phi 710$ 毫米氨合成塔。1958年前后各制造厂又分别试制了20MnMo等材料的铸钢氨合成塔，成功地用于年产800吨制氨厂和年产2000吨制氨厂。

大跃进以来，特别是从无产阶级文化大革命期间，到目前为止，已经制造了 $\phi 420$ 毫米、 $\phi 450$ 毫米、 $\phi 500$ 毫米、 $\phi 600$ 毫米、 $\phi 710$ 毫米、 $\phi 800$ 毫米、 $\phi 1000$ 毫米、 $\phi 1300$ 毫米等等