

化工工人技术理论培训教材



氨的合成

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

氨的合成/化学工业部人事教育司, 化学工业部教育培训中心组织编写. —北京: 化学工业出版社, 1997. 10

化工工人技术理论培训教材

ISBN 7-5025-1922-X

I. 氨… I. ①化… ②化… III. 氨-合成-技术培训-教材 IV. TQ113.26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 14756 号

化工工人技术理论培训教材

氨的合成

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 裴桂芬

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印制厂印刷

三河市延风装订厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 2 1/2 字数 64 千字
1997 年 10 月第 1 版 1997 年 10 月北京第 1 次印刷

印数: 1—10100

ISBN 7-5025-1922-X/G · 528

定价: 5.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划和教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术和现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册:《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应(一)》、《有机化学反应(二)》、《有机化学反应(三)》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册:《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表(一)》、《化工分析仪表(二)》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属钎焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册:《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册:《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册:《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知识》和《化工生产管

理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材,尚是一种尝试,由于我们经验不足和教材编审时间的限制,部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意,为此建议:

一、各单位在组织教学过程中,应按不同等级的培训对象,根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求,以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外,还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况,制订相应的教学方案,确定相应的教学内容,以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题,可及时与我们联系,也可与教材的编者或出版单位联系,使教材中的问题得到及时更正,以利教学。

本套教材的组织编写,得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助,在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

目 录

氨的合成(无 047)	1
第一章 氨合成反应原理	2
第一节 氨的性质和用途	2
第二节 氨合成的生产原理	3
第三节 氨合成催化剂及其固相催化反应机理	6
第四节 氨合成工艺条件的选择	10
第二章 氨合成工艺流程及设备	17
第一节 工艺流程	17
第二节 氨合成的主要设备	29
第三章 操作管理与生产控制	51
第一节 生产控制及不正常现象的处理方法	51
第二节 工艺过程的计算	67
参考文献	70

氨的合成

(无.047)

吉林化学工业股份有限公司化肥厂 张传伦 编
吉林化学工业股份有限公司教育总校 姬淑珍 审

氨的合成是整个合成氨流程中的核心部分。氨合成过程属于气固相催化反应过程。由于原料气一次转化率不高,因此分离后的原料气循环使用。

第一章 氨合成反应原理

第一节 氨的性质和用途

一、氨的性质

1. 物理性质

氨为无色、有强烈刺激性臭味的气体,能灼伤皮肤、眼睛、呼吸器官粘膜。空气中含有 0.5%(体积)的氨,能使人在数分钟内窒息死亡。

氨的密度为 0.771kg/m^3 (标况下),相对密度 0.5971。常压下,氨沸点 -33.35°C ,熔点 -77.7°C ,临界温度 132.9°C ,临界压力 11.38MPa (112.3atm),液氨相对密度为 0.667(20°C)。液氨的气化潜热很大, 101.325kPa (1atm)下气化热 1366.86kJ/kg 。

氨极易溶于水,溶解时放出大量的热,氨的水溶液也易挥发出氨。

2. 化学性质

(1) 氨的水溶液呈弱碱性。

(2) 氨的燃点为 630°C ,在空气中燃烧分解为氮和水。常压室温下,氨在空气中的爆炸范围为 15.5%~28%,在纯氧气中爆炸范围为 13.5%~82%。

(3) 氨的溶液对铜、银、锌等金属有腐蚀作用,但对铁无明显腐蚀。

(4) 氨是碱性化合物,可与酸或酸性气体反应。

(5) 氨与氧在催化条件发生氧化反应,生成氮的氧化物。

二、用途

(1) 利用液氨沸点低、气化潜热很大的性质,在工业或民用上用液氨作为制冷剂。

(2) 用气氨与氧发生催化氧化反应,得到的氧化氮用水吸收制成

硝酸。

- (3) 与二氧化碳反应,可制造尿素。
- (4) 用于制造硫酸、硝酸、碳酸、氯化铵、磷酸等化肥。
- (5) 用于制药、炼油、合成纤维、合成树脂等。如丙烯腈的生产。
- (6) 用于生产染料。
- (7) 由氮得到的硝酸盐可用于制造炸药等产品。

第二节 氮合成的生产原理

一、氮合成反应的特点

氮合成的化学反应式如下:



从化学反应式可以看出该反应具有以下特点。

(1) 该反应为可逆反应,这意味着氢与氮生成氮的正向反应与氮分解成氢与氮的逆向反应同时发生。在一定条件下,两种反应达到一种动态平衡。

(2) 这个反应正向进行是放热反应,在标准状况下(25℃、101.325kPa),每生成 1mol NH_3 ,放出 46.22kJ 热量。逆反应进行则为吸热反应。

(3) 正反应为体积缩小的反应,该反应正向进行时,3 摩尔氢与 1 摩尔氮合成 2 摩尔氮。相同状况下,反应部分的体积约减少为原来的一半,在反应过程中表现为系统压力的降低。

(4) 该反应为需要有催化剂参加的反应,在无催化剂的条件下,反应速度极慢,所需条件极为苛刻。催化剂的使用,极大地加快了反应进程,为合成氮的工业化创造了条件。

氮合成反应的这些特点决定了氮合成过程中所具有的复杂性。

二、反应的平衡和速度

可逆反应的平衡和速度是研究化学反应的两个重要概念。对于一个可逆反应的进行,在选定反应条件时,通常希望它既有利于反应平衡,又有利于反应速度,以便在一定时间内得到尽可能多的产物。反应

平衡和速度是与反应性质和反应条件相关的。研究的目的在于选择和创造有利条件,取得最佳的技术经济效果。

1. 氨合成反应的平衡

氨合成反应是一个可逆反应,正反应与逆反应同时进行。开始时,正反应速度大于逆反应速度,但随着氨含量的增加,逆反应速度随之加快。当两者速度趋于一致时,氨含量不再改变,反应就达到了一种动态平衡。

氨合成反应的这种限度(平衡)与反应所处条件(温度、压力、组成等)有关。当反应条件改变时,这个限度(平衡)随之改变,即反应物中氨含量发生变化,直至达到一种新的平衡。

化学平衡的移动规律指出:当改变影响化学平衡的任一因素时,则平衡就向反抗这种变化的方向移动。

根据这一规律,提高反应温度可使平衡向吸热反应方向移动,降低温度可使平衡向放热反应方向移动;增大压强可使平衡向体积减小的反应方向移动;增加反应物的浓度或降低生成物浓度,可使平衡向增加生成物浓度的方向移动,减少反应物浓度或增加生成物的浓度,可使平衡向增加反应物浓度的反应方向移动。

氨合成反应的特点是可逆、放热、体积缩小,根据化学平衡移动规律可知,降低反应温度能促使平衡向正反应方向移动,提高平衡时的氨含量,提高反应温度,则会使平衡氨含量降低;提高反应压力,平衡向生成氨的方向移动。此反应还受氢、氮浓度、惰性气体含量的影响。

由于受平衡的限制,氢、氮气不可能一次全部合成氨,对平衡条件的选择要受到工业条件的限制,还要考虑消耗、安全及产量等多种技术经济指标。

根据质量守恒定律,要使反应不断向正方向进行,就要增加氢和氮的浓度,或降低氨的浓度。实际生产中,当氢、氮气在合成塔部分转化成氨后,用冷却的方法将大部分氨冷凝分离下来,再补充新鲜气,继续进行氨的合成。这样一面补充参加反应的物质,一面除去反应的生成物,使反应向着生成氨的方向进行下去。

研究平衡的目的,是为寻找合适的反应条件,提高一次合成率。采

用什么样条件,还要考虑反应速度问题。

2. 氨合成反应的速度

反应速度是以单位时间内反应物浓度的减少或生成物浓度的增加量来表示的。

氨的合成反应速度是由化学反应步骤控制的。一般影响气相化学反应速度的因素如下。

(1) 压力 根据氨合成的反应速度的方程式,其正反应速度与反应物的分压成正比,因此,提高压力可以加快氨合成的速度,使气体中氨的含量迅速增加。因为对于气相反应,提高压力就提高了气体浓度,缩短了气分子间的距离,在同样温度下,分子间碰撞机会增多,使反应加速。

(2) 温度 化学反应速度随着温度的升高而显著加快。这是因为化学反应的进行,一方面取决于分子间的碰撞,另一方面有待于化合时阻力的克服。而温度升高使分子的运动加快,分子间碰撞的次数增加,又使分子克服化合时阻力的能力增大,从而增加了分子有效结合的机会。对于氨合成反应,当温度升高,加速了对氮的活性吸附,又增加了吸附氮与氢的接触机会,使氨合成反应速度加快。

(3) 反应物浓度 反应物浓度的增加,增加了分子间碰撞的机会,有利加快反应速度。

从影响氨合成反应的平衡和速度的因素分析可以看出,反应的平衡与速度有时是相互矛盾、相互制约的。在选择操作条件时,必须在有足够的反应速度前提下,选择适当的平衡浓度才有实际意义。

归纳起来如下。

① 反应过程必须在高压下进行,压力越高,越有利于氨合成反应的平衡和速度。

② 反应温度对氨合成反应平衡和速度的影响互相制约。

③ 混合气中氮和氢的含量越高越有利于反应。因此,气体中惰性气体越少越好;反应生成的氨要及时从混合气中分离出去,并且不断地补充氮气和氢以增加混合气体中氮和氢的含量,使反应快速地向生成氨的方向进行。

第三节 氨合成催化剂及其固相催化反应机理

既然温度对合成氨反应平衡和速度的影响互相矛盾,就存在一个最佳的温度。反应速度对温度的要求是借助于催化剂实现的。

催化剂又称触媒,它在化学反应中能改变反应速度,而本身的组成和质量在反应前后保持不变,只是作为反应的载体。在反应过程中,催化剂的主要作用是降低反应的活化能,加快反应速度(无论正反应或逆反应)缩短达到平衡的时间。

一、氨合成催化剂的组成和结构

化学反应对催化剂是有选择性的,研究证明,对氨合成有活性的金属有 Os(锇)、U(铀)、Fe(铁)、Mo(钼)、Mn(锰)、Pt(铂)、W(钨)等。其中以铁为主体并添加有促进剂的铁系催化剂价廉易得、活性良好、使用寿命长,从而获得了广泛应用。由于 Os 系催化剂的高活性及成本的降低,其应用有上升趋势。

铁系催化剂活性组分为金属铁。未还原前为 FeO 和 Fe_2O_3 , $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 在 0.47~0.57 之间可视为 Fe_3O_4 。具有尖晶石结构。作为促进剂的成分有 K_2O 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 等。

Al_2O_3 的作用是当催化剂用氢还原时,氧化铁被还原成 $\alpha\text{-Fe}$,未被还原的 Fe_3O_4 保持着尖晶石结构起到骨架作用,防止铁细晶长大,因而增大了催化剂表面,提高了活性。

MgO 的作用与 Al_2O_3 相似,也是结构型促进剂,通过改善还原态铁的结构而呈现出促进作用。

K_2O 为电子型促进剂,它可以使金属电子逸出功降低,有助于氮的活性吸附,从而提高其活性。

CaO 也属于电子型促进剂,同时能降低熔体的熔点和粘度,有利于 Al_2O_3 与 Fe_3O_4 固熔体形成,还可以提高催化剂的热稳定性。

SiO_2 具有中和 K_2O 、 CaO 碱性组分的作用。 SiO_2 还具有提高催化剂抗水毒害和耐烧结性能。

通常制成的催化剂为黑色不规则颗粒,有金属光泽,堆积密度约为 2.5~3.0 kg/L,空隙率约为 40%~50%,还原态催化剂的内表面积为

4~16m³/g, 催化剂的活性温度一般为 350~550℃ 之间。

二、催化剂的还原

Fe₂O₃ 和 FeO 并不能加快氨合成的反应速度, 起催化作用的是具有活性的 α-Fe。

1. 还原方法分类

将 Fe₂O₃ 和 FeO 变成金属 α-Fe 是催化剂还原过程。催化剂活性不仅与其组成和制造方法有关, 而且还与还原过程的条件和控制方法有关。

催化剂还原反应式为:



整个还原过程为吸热反应, 还原温度借助外热(电加热、或煤气加热)维持。随着还原的进行, 催化剂开始具有活性, 并伴有氨生成和放热, 外热负荷有所降低。

除一般常见的催化剂塔内还原外, 催化剂还原也可在塔外进行, 即预还原。与常规塔内还原相比, 预还原有以下优点。

(1) 不受热能、塔结构和氨生成的影响。避免了合成塔内不适宜的还原条件对催化剂活性的损害, 使催化剂得以在最佳条件下进行还原, 有利于提高催化剂的活性。

(2) 缩短合成塔的升温还原时间, 有利于强化生产。

预还原后的催化剂需用少量含 O₂ 气体加以“钝化”保护, 才能转移至合成塔。

2. 还原条件的确定

确定还原条件的原则一方面是要使 Fe₃O₄ 充分还原为 α-Fe, 另一方面是还原生成的铁结晶不因重结晶而长大, 以保证有最大的比表面积和更多的活性中心。宜选取合适的还原温度、压力、空速和还原气组成。

还原温度的控制对催化剂活性影响很大。只有达到一定温度还原反应才能开始进行, 提高还原温度能加快还原反应的速度, 缩短还原时间, 提高反应的彻底性。但还原过程也是纯铁结晶体组成的过程, 要求 α-Fe 晶粒越细越好, 还原温度过高会导致 α-Fe 晶体的长大, 催化剂表面积减小, 活性降低。因此, 实际还原温度不超过它的正常使用温度。

降低还原气中 p_{H_2O}/p_{H_2} 有利于还原进行。还原气中氢含量应尽可能高($>75\%$),水汽含量尽可能低($<2g/m^3$)。水汽含量的高低对催化剂活性影响很大。水蒸气的存在可以使已还原的催化剂反复氧化,造成晶粒变粗,活性降低。

尽可能采用高空速($10000h^{-1}$ 以上),以保持还原气中的低水汽含量。在保证空速的前提下,还原压力低些为好。

3. 催化剂的还原操作

根据合成塔类型和催化剂型号不同,催化剂还原分为分层还原和整体还原两种,一般以塔内整体还原方式居多。

根据温度变化出水情况,将整个还原分为升温期、还原期(初期、主期、末期)、降温期、轻负荷等几个阶段。

升温期按 $40^\circ C/h$ 速度将催化剂层升温至 $300^\circ C$ 左右,此时基本无水放出。

还原期根据出水情况提温,出水与提温交替进行,初期放的吸附水,主期为化学水。

初还原的催化剂活性高,床层温升快,容易过热,进行一段时间轻负荷生产可以避免催化剂早期衰老,延长其使用寿命。

还原操作要点如下。

(1) 还原期间,温度、压力、流量、气体成分等工艺条件要求稳定,不要出现大的波动,在正常情况下,不得同时变更多项工艺条件。

(2) 严格控制水汽浓度或出水速度,合成塔出水汽浓度不大于 $3g/m^3$ 。

(3) 还原过程中要尽量做到高氢气、高空速、低压力。调节温度一般用循环流量和热负荷。还原时温度一般不用副阀调节。

(4) 视出水情况提温提压。

(5) 还原要严格按制定的升温曲线进行,避免温度出现反复波动。

(6) 当前面工序出现问题时,要及时切断新鲜气的补入。

(7) 要定时分析合成塔出口气的水汽浓度。

(8) 还原放出水中氢含量大于 80% 达 $3h$,可导入收集槽。

(9) 当出塔水汽浓度连续三次分析 $< 0.1 \text{ g/m}^3$ 时, 还原即可结束。

三、催化剂的使用

1. 催化剂的中毒和老化

催化剂在使用过程中会由于进塔气中含有微量有毒物质而中毒, 尤其是上层催化剂。

原料气中可引起催化剂中毒的成分有: 氧及氧的化合物 (O_2 、 CO 、 CO_2 、 H_2O 等), 硫及硫的化合物 (H_2S 、 SO_2 等), 磷及磷的化合物 (PH_3), 砷及砷化合物 (AsH_3), 以及润滑油、铜氨液等。

硫、磷、砷及其化合物引起的中毒是不可逆的。氧及氧化合物引起的中毒是可逆的、暂时的, 当气体成分好转后, 催化剂的活性可以得到恢复。油类在催化剂上结炭, 覆盖催化剂表面。油中的硫分可引起催化剂不可逆中毒。铜氨液带入合成塔, 也会覆盖催化剂表面。这几种形式的中毒, 介于可逆与不可逆之间。

催化剂的衰老受温度影响。催化剂在使用过程中由于过热或由于可逆中毒而反复被氧化还原, 从而使细结晶长大, 改变了催化剂的结构, 导致活性下降。

催化剂的中毒和老化是不可避免的, 但通过改善气体质量和稳定操作能延长催化剂使用寿命。

2. 催化剂的保护

催化剂升温还原期间, 催化剂的升温速率在达到还原温度之前, 应为 $30^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C/h}$, 防止产生平面温差。还原出水期间要缓慢升温, 防止温度升得过快, 引起大量出水, 使还原后的催化剂晶粒长大, 降低活性。

新还原的催化剂要保持一段时间的低负荷, 使未还原的部分继续还原, 防止出现温度过高和大幅度减量情况。

触媒用于生产期间, 应稳定操作, 使热点温度波动在 10°C 以下。新鲜气中 $\text{CO} + \text{CO}_2 \leq 2 \times 10^{-5}$ 。

合成系统停车检修时, 升降温速度为 $30^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C/h}$ 。

停车后, 合成塔要保持正压防止空气被吸入。必要时加盲板保

护。开车时要将管道内空气用氮气吹扫净。

合成塔被拆过程中,内件用氮气保护。内件需吊出时,催化剂要进行钝化升温。

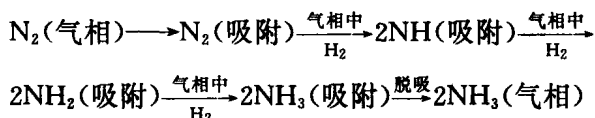
钝化时使用含氧约 0.2% 的氮气,催化剂热点温度小于 100℃。整个过程需 30~40h,热点由上部移至底层,然后整个催化剂层温度开始下降,如出入口 O₂ 含量一致,即已完成。

四、气固相催化反应机理

气体催化反应历程为

- (1) 气体反应物扩散到催化剂外表面;
- (2) 反应物扩散到催化剂内表面;
- (3) 气体被催化剂表面活性吸附;
- (4) 在催化剂表面上反应,生成氨;
- (5) 产物自催化剂表面解吸;
- (6) 产物由内表面向外扩散;
- (7) 产物自外表面扩散至气相。

对氨合成反应表示为:



当气流速度相当大,催化剂粒度足够小时,外扩散和内扩散的影响不显著,氮的吸附步骤进行的最慢,是反应速度的控制步骤。因此,提高氮的吸附速度,即可达到提高催化反应速度的目的。

第四节 氨合成工艺条件的选择

实际生产中,氨的合成反应不可能达到平衡,合成工艺参数的选择除了考虑平衡含量、反应速度外,还要综合考虑催化剂使用特性以及系统生产能力、原材料和能量消耗、工艺流程、设备材质和结构、操作方便、安全可靠等多方面因素,以期达到最佳的技术经济效果。

氨合成的工艺条件一般包括压力、温度、空速、氢氮比、惰性气体含量和初始氨含量等等。

在工业上实现氨的生产必须具备的条件是：一方面应尽量满足反应本身要求，另一方面也必须照顾实际可能情况。其最终目的是使单位产品消耗为最少，并且做到安全、均衡、长周期运转。

一、催化剂层温度

维持一定的催化剂层温度是保证氨合成反应速度的先决条件。

氨合成反应平衡和反应速度对反应温度有着不同的要求，因此，在一定条件下，合成氨反应必然有着最适宜温度 T_m （或称为最佳温度），反应按最适宜温度曲线进行，催化剂用量最少，合成效率最高。

T_m 与平衡温度 T_e 及正、逆反应活化能 E_1 、 E_2 关系为：

$$T_m = \frac{T_e}{1 + \frac{RT_e}{E_2 - E_1} \ln \frac{E_2}{E_1}}$$

不同的催化剂具有不同的最适宜温度。活性好的催化剂，最适宜温度就低。同一催化剂在不同使用时间，其最适宜温度也会改变。随着催化剂的老化，其最适宜使用温度也相应提高。

最适宜温度还与反应的气体组成、空速、压力相关。

氨合成反应每一个空速都对应一最适宜温度，合成氨的最适宜温度随空速增加而提高。这是由于空速大，反应远离平衡，反应速度成为关键，提高反应温度可加快氨的生成。

在空速不变的情况下，增加压力由于平衡的正向移动，最适宜温度也要相应提高，有利于氨的生成速度。

在相同条件下，反应物中氨含量高，相应的平衡温度和最适宜温度下降，才有利于氨生成（如图 1-1）。

反应气通过触媒层发生反应，其中氨含量逐步增加，同时压力、空速有所降低、惰性气体含量上升。

根据氨合成反应的平衡和速度的要求，触媒层内温度分布状况应是降温分布（如图 1-2A 线），因为刚进入触媒层的循环气中含氨低，距平衡较远，提高温度可使反应迅速进行。在触媒层下部，气体中氨含量已增高，降低温度有利于平衡的移动，提高气体中的平衡氨含量。这样的温度分布，兼顾了反应速度和反应平衡，提高了合成效率，有利于产