

第四届国际氮肥技术 会议论文集

英国硫磺公司

化学工业部科学技术情报研究所

一九八二年三月

说 明

1981年1月英国硫磺公司(The British Sulphur Corporation Limited)于伦敦召开了第四届国际氮肥技术会议,并出版了会议论文集,名称为 **Fertilizer Nitrogen** (Proceedings of the British Sulphur Corporation Fourth International Conference on Fertilizer Technology Part I)。其主要内容包括现有氮肥厂所采用的先进技术、煤炭制氨新技术、节能新工艺的研究与开发;还包括氮肥厂的污染治理、新的造粒技术和液体氮肥的施用技术等。可供从事氮肥工业的生产、科研和设计的工程技术人员以及高等院校师生参考。

本资料包括论文集(第一集)的二十一篇文章和在会议上发表的其它四篇文章,共二十五篇,其中大部分为摘译。第一篇至第十六篇由吴玉峰同志译(湖北化工厂),第十七篇至第二十一篇由孙会群同志译,第二十二篇至二十五篇由黄景梁同志译,最后由黄景梁同志编辑。

编者1982年3月

序 言

合成氨工业最近的一次革命发生在六十年代初期,这时,采用了大型单系列装置,使能量消耗降低。以后进一步的改革仍是提高能量回收系统的效率和机械设备的效率,而不是发展带根本性改革的新方法。

今日氨厂的能耗仍比理论值高得多,也比技术上可能合理做到的要高些。但目前新技术的采用是经济性能更甚于纯技术性能,即投资增加不能超过节能的经济效果。这一原则已在当前的开发工作中反映出来,其中相当部分是有关废热利用,特别是充分利用低位热能减少工厂排出的废热。一个很好的例子是采用二氧化碳物理吸收法,它再生时不需加热,使氨厂的部分低位能废热可用于吸收制冷系统。这一方法使产品氨的冷冻系统不需消耗机械能,并减少了主要压缩机的动力消耗。降低机械能消耗就减少了高压蒸汽的使用量,从而就可能将热的工艺气体的部分高位能热量用于蒸汽转化反应。

另一部分相当数量的能量,可以花适当的投资从排放气中回收。这种气体在合成系统中为控制不反应气体的积累,保持反应过程的氢含量,而需要正常排出的,虽然也可用作燃料,但其提供的热量远少于生产它所消耗的量,也可以将排放气进一步加工,回收氢和其他稀有气体获得附加的价值。

世界上许多氨厂,对用其他能源作为燃料和原料来代替烃类很有兴趣。虽然一般来讲,这样做并不能提高能量的利用效率——实际上可能降低——其所以感兴趣是出于某种战略上或经济上的考虑,可以减少依赖进口烃,而当将来世界上的烃类变得稀缺时,就越加重要了。一个重要的替代物是煤,但在效率、可靠性和制气过程中的环境污染等方面有许多问题,还正在解决之中。钢厂副产的焦炉气可用作制氨原料。另外可能利用的是核热,但当前只能用来发电和提供蒸汽转化反应所需要的热量,或则用来进行电解法制氢。

后部工序的能耗虽不如制氨过程之可观,但也可以作相当改进。例如,改进尿素生产流程充分回收内部的热量,减少排向冷却水的热量、从而使蒸汽消耗量大大减少。通过采用效率较高、产品质量较好、污染控制较简便的流化床造粒法来代替普通的造粒技术,降低能量消耗。硝铵造粒塔结疤清洗问题,已经在粘塔严重部位用抽空气的办法解决。用于保持产品性质、防止降解和结块损失的硝铵肥料表面涂层技术已有重要发展。

有两个因素,对保证任何新技术、特别是有关提高能量效率的新技术的成功,是极其重要的。第一,要有能够经得住在工艺过程中往往是更加苛刻的物理条件的结构材料;第二,要求在操作中有更高的智力、技术和经验。没有这些条件,只作工艺过程的技术改进是没有用的。

这些发展工作虽然有意义,但对减少农业对矿物燃料的依赖贡献有限。倘要获得决定性的结果,科学必须开辟某种大量的新的能源。

上述的技术进展及其它课题将在英国硫磺公司举办的第四届国际会议的论文中详细论述。

目 录

序 言

1. 氮肥工业中的能量利用.....	(1)
2. 节约能量和投资10—15%的“低能耗氨厂设计”	(14)
3. T V A以煤为原料的制氨方法.....	(19)
4. 电解水制氢的小型氨厂.....	(26)
5. 减少氨厂原料消耗和利用其他能源的新技术.....	(34)
6. 氨厂排放气的净化和回收.....	(41)
7. 稀有气体与氨生产.....	(45)
8. 氨吸收制冷的工业应用.....	(50)
9. 氨和甲醇合成的新型反应器设计.....	(62)
10. 充分降低氮肥生产能耗的措施 ——Montedison研究和开发方案.....	(70)
11. 尿素厂降低成本和减少污染的改进措施.....	(78)
12. 一个大型尿素厂的实际操作数据.....	(95)
13. N S M流化床尿素造粒法.....	(99)
14. N S M的硝铵涂层肥料技术.....	(104)
15. 硝铵造粒塔除雾系统的设计和操作.....	(112)
16. 氮肥厂液体排出物的经济处理方法.....	(120)
17. 将尿素厂污水中的氮含量降至最低程度.....	(129)
18. 氮肥联合企业生产管理的改进.....	(139)
19. 氮肥工业中使用的特殊不锈钢.....	(149)
20. 使用硝化抑制剂Didin的经济探讨.....	(160)
21. 液体氮肥的精确施肥.....	(168)
22. 改进催化剂与反应器的设计以提高氨生产的能量利用率.....	(183)
23. 脱除二氧化碳工艺的评价.....	(193)
24. 采用空气气化法生产合成氨.....	(196)
25. 用cofaz法从硝酸尾气中回收硝酸.....	(200)

论 文 一

氮肥工业中的能量利用

G.D.Honti

(匈牙利化学工业工程中心)

摘 要

当前世界上效率最高、最经济的合成氨生产方法，还是天然气蒸汽转化法，世界上80%的氨厂都采用它。将氨加工成其他形式的肥料所消耗的能量，比制氨过程要小得多。因此氮肥工业的节能措施，在近期或中期内，主要是对甲烷蒸汽转化过程加以改进。

虽然从能量利用和运转的经济性来看，甲烷蒸汽转化法是最好的，但当在某些情况下必须采用重质原料如燃料油或煤时，蒸汽转化法就不合适而必须用部分氧化法。对此法作技术上的改进，能使它与甲烷蒸汽转化法对比时的不利方面减少。

一、固定氮的方法

固定氮的真正问题，是供给能量以打破氮分子的极稳定的化学键。每公斤分子氮需 7×10^8 焦耳以上的能量。打破氮分子的化学键，将氮元素固定为化合物有三个可能的途径：

1. 用空气为原料，将其中的氮和氧化合成氧化氮，可以方便地制成易为植物吸收的硝酸盐；
2. 将氮与氢化合为氨，这是另一种普遍用来制造肥料的氮化合物；
3. 寻找某种具有固氮能力的化合物，能在一定条件下将氮固定到它的结构中来。

在这几方面都进行了大量研究工作，并且都已获得可供工业应用的方法，即：电弧法、合成氨法和氰氨法。那些早先应用过的方法，现今都被合成氨法所取代。但是用等离子或核反应的方法直接合成氧化氮、用各种有机金属络合物固定氮等这些最新的研究仍在进行。

若从能量方面作一考察，不难了解何以某种固定氮的方法会一直被采用。表1对每种方法的理论自由能的变化、工业实践的最低能耗和能量利用效率、技术上可能达到的能耗和能量利用效率。

表1 三种固氮方法的理论标准自由能变化、
工业能耗和可能的最低能耗的比较表

	直接氧化法	合成氨法	络合物法
	$\frac{1}{2}\text{N}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}$	$\frac{1}{2}\text{N}_2 + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \frac{3}{4}\text{O}_2$	$\frac{1}{2}\text{N}_2 + \text{X} \rightarrow \text{XN}$ $\text{XN} + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \frac{1}{2}\text{O}_2$
理论标准自由能, 10^9 焦耳/吨 N	6.2	24.36	34
工业最低能耗, 10^9 焦耳/吨 N	670	41	230
效 率	1 %	60 %	15 %
技术上可能达到的能耗, 10^9 焦耳/吨 N	80	30~33	
	Wiscorsin法		
效 率	8 %	75 %	

表中的数字是近似值, 仅作参考

比较表中没有计入加工成肥料所需要的能量。氨加工成其他产品的能耗是很小的, 而制造氨本身所需要的能量约占98%。

根据表1所列的理论标准自由能数据, 从热力学的观点来看, 最好的方法是直接氧化法制氧化氮, 它的能耗只有氨法的四分之一。但此反应在动力学上是不利的, 则需要高温才能获得必要的反应速度, 而平衡产率是很低的。为防止产率进一步下降, 需要将高温气体急冷, 从而招致大量能损失。电弧法的能量效率在1%以下, Wiscorsin法为6~7%。除非有根本性的技术突破, 此法即使利用核能或磁流体动力学, 其消耗的能量仍比氨法高得多。

络合物法, 其工业途径是氰氨法, 其生物学途径是固氮微生物机体法。这是与直接合成氨不同的另一条途径, 但它们在热力学上的路线是相同的, 从同样的原料获得同样的产品, 只是反应条件温和, 例如微生物法只需要常温常压就够了。络合物法的能耗比直接法高, 但人们所以对生物学方法感兴趣, 因为可以利用大量的太阳能而减少不可再生的能源损耗。可是迄今为止, 还没有产生出能在工业上应用的微生物机体的固氮能力。

因此, 预计将来, 化学合成氨仍将是最经济的固定氮方法, 能量利用问题必须从改进合成氨工艺着手。

二、合成氨的生产方法和能耗比较

所有各种合成氨方法基本上都可分为以下三个步骤:

1. 通过造气和净化制备氢氮比为3:1的合成气;
2. 压缩;

3. 合成。

最近提出取消压缩工序、使全过程在同一压力下操作的等压流程。但尚未投入生产。全过程中占主导地位的是气体生产部分，它决定了后面合成系统的操作条件。因此各种技术革新不断地在造气部分进行。

图1和图2对各种原料和主要生产方法作了比较。图1表示了工厂的实际比能消耗和热力学效率，图2表示每种方法所包含的不同工序。制造氢（水的分解）理论上需要相同的标准能量变化（ 30.5×10^9 焦耳/吨氢），而不管是用煤、液烃或气烃，是用转化法、部分氧化法、电解法、甚至热分解法。原料中的氢含量（煤最少、甲烷最多、其他烃类则居中）构成合成气中的氢，从而对能量平衡有些影响，但并不显著。但是，从热力学第二定律来看，情形就不大相同，加上技术上的限制，差别就更大了。

一切工艺过程的效率损失可归诸于下列原因：

1. 所有消耗机械能或电能的工艺过程的卡诺循环效率；
2. 工艺过程的不可逆性，即分离、压缩等过程的第二定律理论效率问题；
3. 由于技术水平和成本考虑（例如，保温和热损失之间的成本平衡）所造成的不可逆损失。

前二项损失，用工程的方法理论上是不能避免的，只能修改工艺流程。第三项损失，则对一切工艺过程可从设计上尽量减少。但各种方法的能耗情况，可通过前二项的原理作出基本判别。

最佳的方法应包含最少的机械能、最少的分离过程和最少的合成气压缩。中压（30~40巴）甲烷转化法只有一个分离过程——二氧化碳脱除，而合成气的压缩从30~35巴开始，所以至今是能量效率最好的工业方法。

部分氧化法需要用氧气造气，气体的净化通过某种非催化过程（液氮洗或压力交替的吸收过程）。这二者的能量效率都很低，因而在同样压力下，其效率不如蒸汽转化法。然而部分氧化法可以利用广泛的原料。各种部分氧化法的主要区别是气化压力的高低，压力愈低，能耗愈高。所以，它只有高压法才能与蒸汽转化法竞争，因为需要较少的压缩功可以部分抵销其他的弱点。

蒸汽转化法的原料只能应用天然气或轻质烃（石油气或轻油）。轻油蒸汽转化的效率要比甲烷转化低5~10%。原料的碳氢比越高，消耗的工艺蒸汽越多、分离过程的负担也越重，这不但是因为生成较多的 CO_2 ，而且原料还需要脱硫。重质烃或煤只能采用部分氧化法。由于气体成分和原料形态的不利，能量效率就更低了，

由此可以得出结论：蒸汽转化法能量最经济，用于此法的最佳原料是天然气，今后的氨生产仍应以天然气为基础。

用煤做原料能量的利用是不经济的：获得同量氨必须多消耗50%以上的能量；设备的建造、组装和建筑物的耗费很大。所以用煤为原料的氨厂投资比以气体为原料的厂大一倍以上（若建电厂则用煤和用气效率仅差10~15%，投资仅差25%，所以用煤代气的做法要比氨厂合算得多）。

上述情景，只有在机械能或电能的生产上作出基本改革，才能改变。只有将化学能直接转变成机械能或电能（例如燃料电池原理）才能超过卡诺循环的效率。

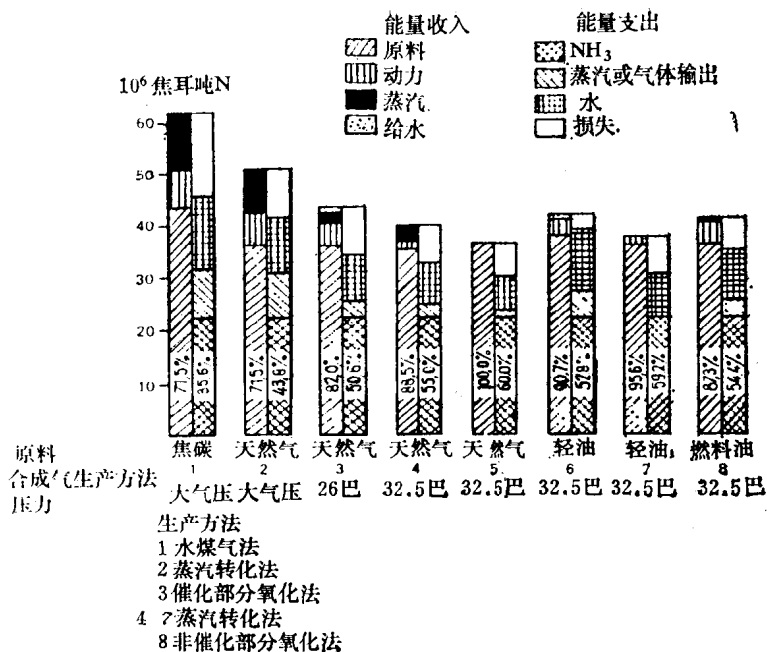


图1 各种氨生产方法的能量平衡

原料	水	无硫天然气	轻油	烃类		煤	
	电解	蒸汽转化	蒸汽转化	德士古	KT	德士古	KT
空气分离	①			①	①	①	①
辅助蒸汽生产				②	②	②	②
原料制备		脱硫	①			制煤粉	③
第一气化炉	②	① 蒸汽转化	②	③	③	部分氧化	④
第二气化炉		② 第二转化	③				
初步压缩					④		⑤
低温变换		③	④	④	⑤	⑤	⑥
高温变换		④	⑤				
脱硫				⑤	⑥	⑥	⑦
脱CO ₂		⑤ ^A ⑥ ^B	⑥ ^D	⑥ ^D	⑦	⑦ ^D	⑧ ^D
最后净化	③	⑥ 甲烷化	⑦	⑦	⑧	⑧	⑨
压缩	⑧	⑦	⑧	⑧	⑨	⑨	⑩
合成	⑤	⑧	⑨	⑨	⑩	⑩	⑪

图2 各种制氨方法的操作单元

三、甲烷蒸汽转化法

1. 现状

尽管有许多专利方法，在细节方面有所不同，但就整个过程和热回收方法而论，其基本流程是相同的。

图 3 是此法的典型流程。图 4 表示现代氨厂的典型蒸汽系统。表 2 说明若干年来蒸汽转化法的发展情况。

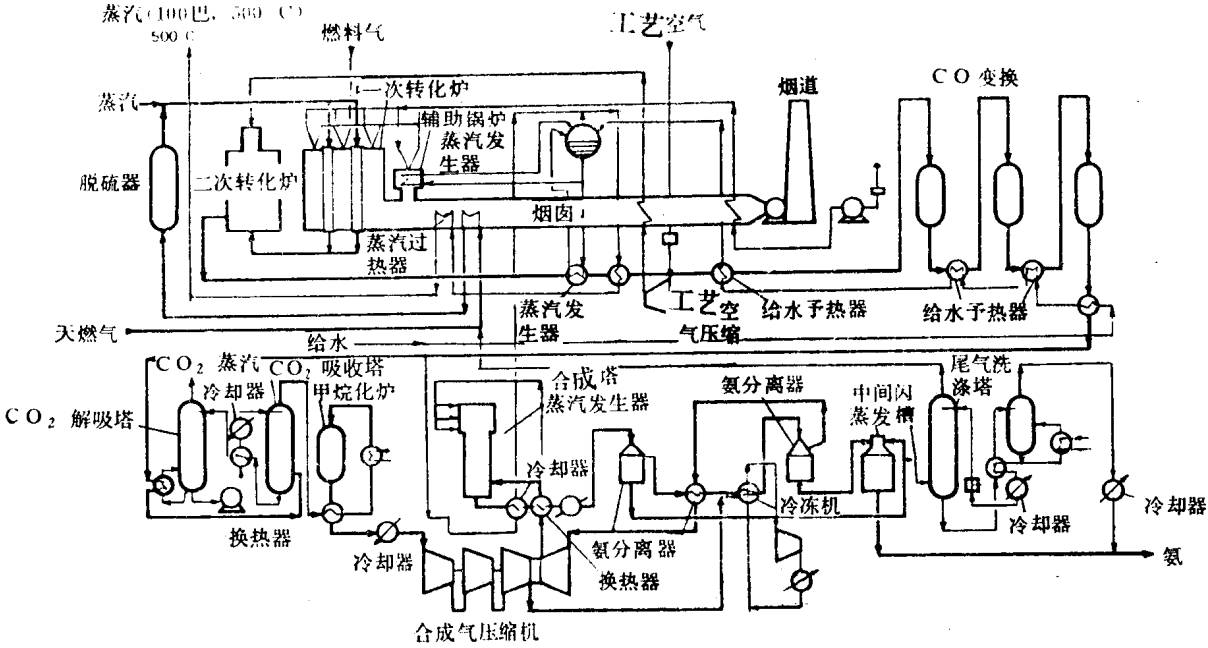


图 3 氨生产全厂工艺流程

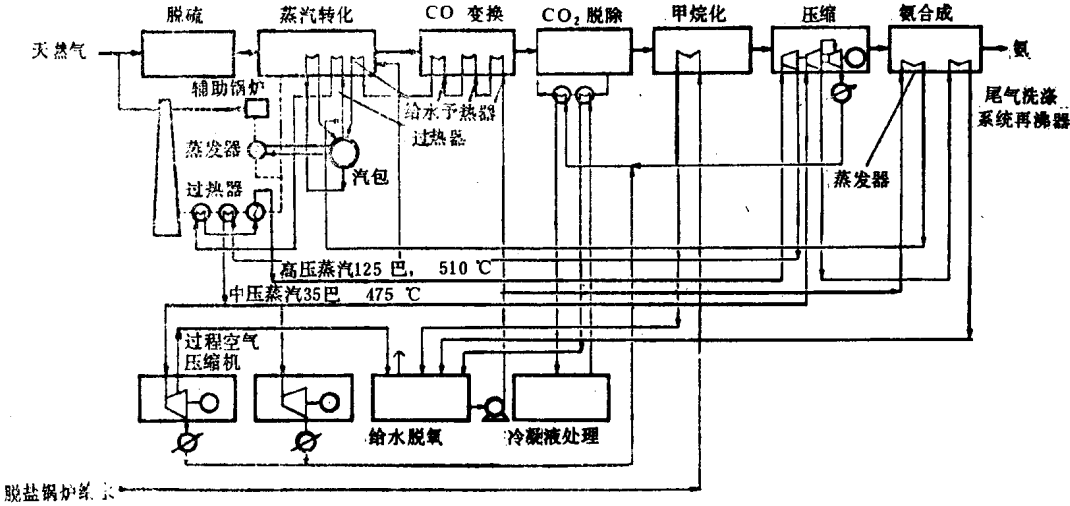


图 4 图 3 流程的能量回收系统

在转化法的发展中最根本的因素是压力。当然，原料（烃类特别是甲烷）、机械改进（结构材料和设备）、分离过程的取消（除二氧化碳脱除外）、以及高效二氧化碳洗涤系统的采用，都有重要作用。

提高造气和副产蒸汽压力的两个重要效果是：实现具有高效热回收系统的、过程紧凑的大型单系列生产；大大减少压缩动力。

表 2 氨厂的发展、天然气和动力消耗 (根据Quartilli和Buividas的数据)

发展阶段	年 份	工厂规模 吨/日 (单系列)	转化炉压力 巴	合成压力 巴	原料和燃料 10^6 焦耳 /吨N	动 力 千瓦小时 /吨N	动 力 10^6 焦耳 /吨N	总 能 耗 10^6 焦耳 /吨N	主 要 过 程 改 进
1	至1952	135 ¹	—	320	51.5	1540	15.49	66.98	第一次将转化压力提到50巴
2	1953	147 ²	5	320	50.7	1312	13.19	63.84	第一次使用30巴压力的离心压缩机压缩合成气
3	1955	90~270	10	320	45.2	1125	11.3	56.52	第一套220吨/日的单系统装置
4	1960~1962	90~325	20	320	43.1	910	9.13	52.33	使用低二氧化碳脱除过程, 进一步提高转化压力
5	1963	290	30	320	42.3	843	8.37	50.66	改进转化炉管子材料进一步提高转化压力, 增大反应热的回收、低温变换触媒投入使用
6	1964	550	20	320	52.3	248	2.51	54.84	第一次使用140巴压力的离心压缩机压缩合成气, 第一套550吨/日的单系统工厂
7	1965~1970	550~1550	31~35	150~230 ³	43.9~45.2	20	0.2	44.1~45.43	第一次采用高效能量循环的全离心式压缩机设计, 单系统能力达1550吨/日。

1. 有 8 个平列的合成系统

2. 有 2 个合成系统

3. 统系压力随工厂能力而变

2. 能量回收

一个产氨50吨/小时的工厂，其副产蒸汽可达200吨/小时以上，相当于170000瓩的功率。图3所示的流程，热回收安排得很合理。工艺气体和烟道气的大部分热量，被用来产生压力100巴、过热到500°C的蒸汽。蒸汽的压力高是获得较好的能量平衡的另一重要因素。例如，100巴的过热蒸汽，可通过背压式透平膨胀到蒸汽转化炉的进口压力，而作出300~350瓩小时/吨N的功。然后多余的工艺蒸汽被用于凝汽式透平，以补充主压缩机所需功率与背压式透平出力之间的差额。

废热可提供工厂所需要的总能量的85%。设置一台辅助锅炉，就可使系统能量得到平衡。

工艺气体中蒸汽的潜热是重要的一部分。这部分热量只有在适当的高温下才能利用。图5从热量回收的观点表示了温度的压力的关系。当压力为30巴时，130°C以上可回收总潜热的60%左右；而10巴时146°C就不能发生冷凝过程；大气压时露点为78°C，实际上不可能回收热量。气体中的水蒸汽潜热占总能量的16~17%，若回收该热量的60%，则可使氨厂的热量平衡增加10%。

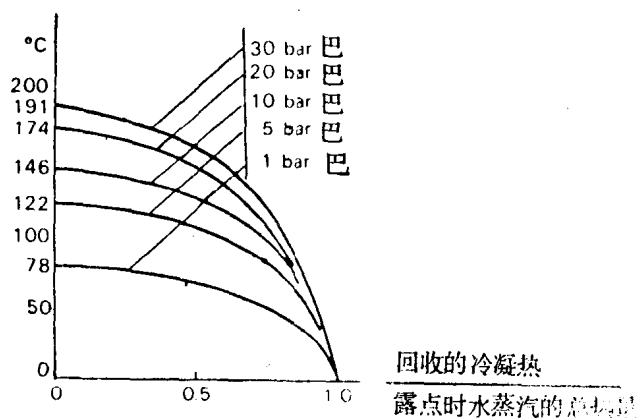


图5 从饱和合成气的蒸汽冷凝中回收的热量

现在的CO₂脱除装置，广泛应用化学吸收如活性钾碱或MEA—DEA系统，用二次吸收法只消耗少量热量。大部分溶解的CO₂通过减压释放出来，只有用于二次洗涤的那部分溶液才需要用蒸汽汽提。最近已对不需要冷冻的物理吸收感兴趣，含富CO₂的溶剂只需通过减压便可再生。

合成系统的反应热可回收85%，对能量平衡是更加有利的。

3. 压缩功

图6的曲线a表示将气体从转化装置的出口压力压缩到合成压力所消耗的功。曲线b则表示天然气和空气由常压加压到蒸汽转化压力所需要的功。由于天然气的压力常常远离于大气压，所以这部分功可以全部或部分地省去。曲线C是上述两曲线之和。

从曲线可以看出，压缩功开始节省得很多，随着进口压力升高曲线逐渐平缓。以每吨氮每巴压力计平均节省的压缩功是：

8~14巴之间时	10.3瓩小时/吨N/巴
14~21巴之间时	5.3瓩小时/吨N/巴
21~35巴之间时	2.4瓩小时/吨N/巴
35~49巴之间时	0.85瓩小时/吨N/巴

以上是在合成系统压力为300巴时的数据，并且未计入造气和净化的各种泵的能耗。提高转化压力的缺点是使气体中甲烷升高，这就需要提高转化温度或提高蒸汽碳比。

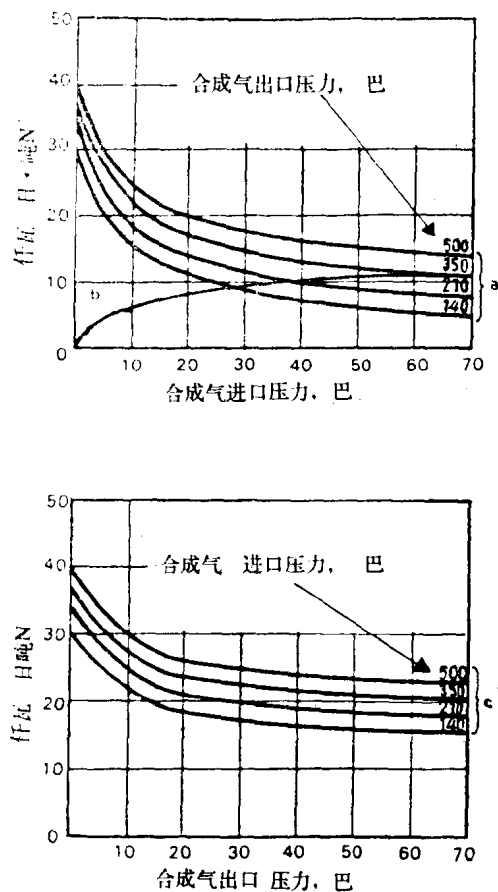


图6 总的压缩功消耗和主压缩机进出口压力的关系
(用甲烷蒸汽转化法的工厂)

4. 蒸汽消耗

因为变换需要的蒸汽量大于转化炉的最低需要量。所以在一段转化炉前适当多加蒸汽是有好处的。第一，可以使出口平衡温度降低，从而就可使实际的出口温度降低，或者在同样

甲烷含量对总能耗的影响表示于图7。

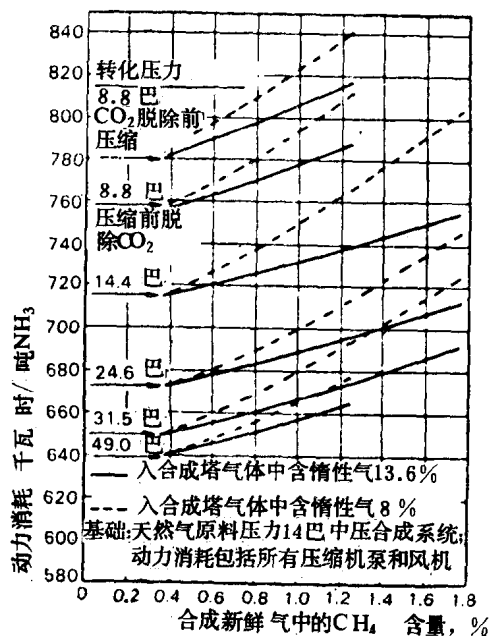


图7 不同转化压力下合成新鲜气中甲烷含量对压缩能耗的影响

温度下使甲烷转化率提高；第二，由于质量流量的强加，增强了热交换，使得出口气体与管壁的温差减小。以上二个效应均使管壁温度降低。

但是，在正常范围内转化反应的吸热量几乎与蒸汽碳比无关。

加热多余蒸汽的那部分热量从两个因素得到补偿；其一出口温度降低了；其二CO变换率提高了。蒸汽：碳的比值的上限是：应使低温变换后气体中的热含量，与CO₂脱除部分溶液再生所需要的热量相平衡。超过了就是不经济的。

转化炉压力越高越好。限于当前的冶金水平，在甲烷转化所必需的高温下，转化炉管子所能承受的压力不能远高于40巴。

压缩终了的压力决定于合成系统的压力。此压力愈低，新鲜气的压缩功愈少，但循环气和氨冷凝所消耗的压缩功增多。因此存在一个最佳值，但此值随给定的条件而异。图8是在一定参数下作出的一个示例。由图2见，总的能耗曲线较平坦，最佳值能量节省并不多。因此合成系统的压力往往决定于其他一些因素；如基建投资、压缩机结构（段数）和合成塔大小等。

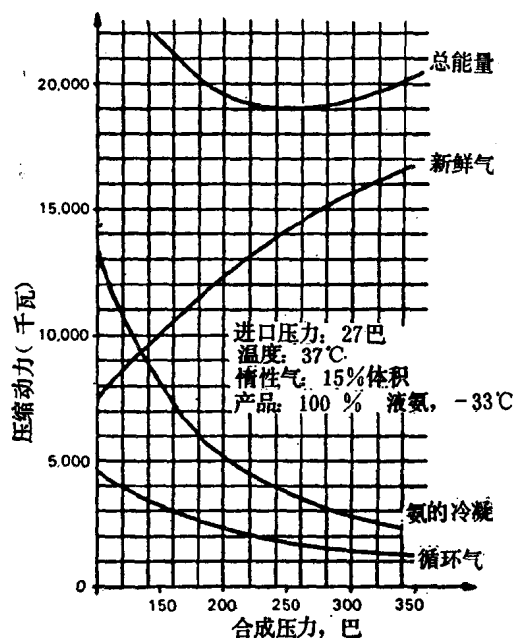


图8 合成压力对压缩动力消耗的影响（据Appl的著作）

5. 能量的平衡和利用

为探索提高能利用效率的可能性，必须对过程的能量平衡进行仔细考察。这可以有几种方法：总能流法；能量平衡（Q—t）图解法和功损失平衡法。

图9表示全过程的总能流。产品的热含量占加入能量的49%。

图10仅仅表示蒸汽转化热回收系统的Q—t图。

表3汇总了过程中各单元的功损失。

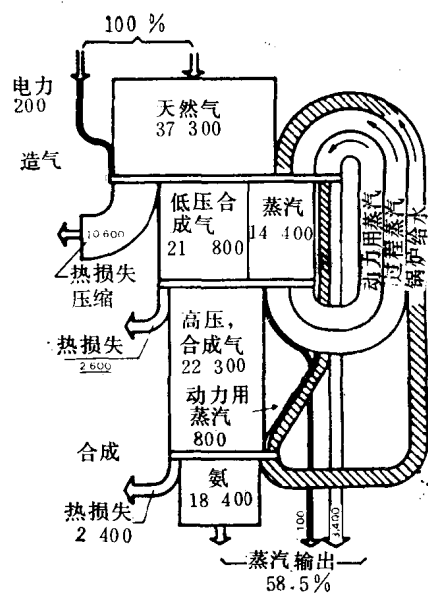


图9 日产1200吨天然气蒸汽转化法氨厂的能流图
(数字以 10^8 焦耳/吨 NH_3 计)

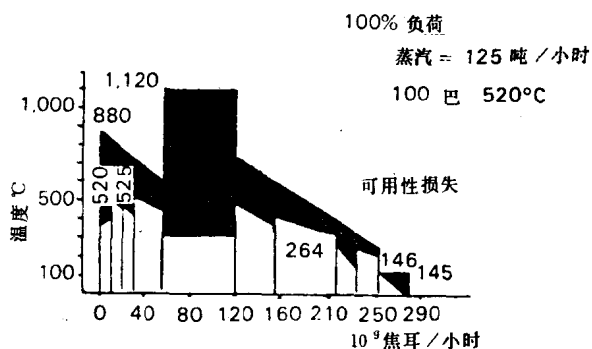


图10 蒸汽转化热回收系统的Q—t图

作平衡图时必须极其小心。如成品氧之类的物质，必需从其原来的能载体状态算起、并计入一切动力损耗，才能作为计算的基础。通常在作平衡时，电力按5600千焦耳/吨小时计算，而纯氧的含量当作零。

能流图虽然对能量平衡很重要，它的缺点是没有考虑能量品质的下降。Q—t的优点是可以看出能量的不可逆性，而功损失平衡表只是能流图的数字形式。所以，对这些图表必须再加上详细的热力学研究，才能获得正确的结论。

表3 以天然气为原料的氨厂功损失表

损失部位	功损失 10^8 焦耳/吨	占工厂总的功损失，%
(1) 预热和一次转化(包括烟道气废热回收和副产蒸汽)	10.17	55.0
(2) 二次转化空气压缩机和废热锅炉	2.55	13.7
(3) 高低温变换和甲烷化	0.54	3.1
(4) 二氧化碳脱除	1.09	6.1
(5) 压缩和合成	1.55	8.4
(6) 冷冻系统	0.12	0.8

(7) 蒸汽系统	1.55	8.4
(8) 一般损失	0.84	4.5
合 计	18.41	100.0

6. 老流程检查

(1) 一段蒸汽转化炉

能回收良好, 热力学效率高 (87~89%)。然而55%的功损失 (见表3), 以及最大的不可逆性损失集中在这里。主要原因是温差大, 最大的是在蒸汽发生部分 (约600°C)。这种状况暂时还不能有根本的改变, 但通过以下方法可以增加百分之几的能量回收。

预热喷咀空气: 可以提高总效率至91~93% 烟道温度降低25°C, 相当于效率增加1% (设空气过量15%、辐射损失2%), 即可以节省 $600\sim700\times10^6$ 焦耳/吨N。烟道气温度150°C, 其燃烧效率为92%以上。特别是用无硫天然气作为燃料, 烟道温度降到100°C技术上是完全可能的。但这时必须将燃烧空气加热器加大60%, 而这在投资上是不合算的。

提高蒸汽压力和过热度: 压力提到105~110巴以上使技术变得复杂并不合算, 但将透平入口蒸汽过热到520~530°C却是可能的。

(2) 二段转化炉

二段转化炉及其废热锅炉是“功损失”的第二大户。损失是在空气燃烧部分以及二段转化气与蒸汽发生温度之间的温差大。但这里似无多大潜力。

(3) 二氧化碳脱除

传统的分离过程, 仍利用合成气最后热回收阶段的低位热量来进行溶液再生。此低位热在氨厂内部已难于进一步利用, 若移作它用, 则会给紧凑的合成氨系统带来某些缺点。因此, 尽管物理吸收和三步法吸收技术上先进, 除非可将低位热量另外用于如生产热水等场合, 否则并无多大优越性。

(4) 压缩和驱动

氨生产的总能耗将近有20%用于压缩。在正常操作范围内, 机器的操作效率大致如下:

离心压缩机	70%
凝汽式透平	25%
背压式透平	70%

各厂家出产的压缩机效率最高可以相差10%。透平驱动的效率同样也可以增加5~10%, 而不需花费太多的投资。如压缩机和透平都能达到最好的效率, 则一个1000吨/日的氨厂功率损耗可以减少3000~4000瓩, 相当于100瓩时/吨N、或 $800\sim1000\times10^6$ 焦耳/吨N。

(5) 合成系统

最新的氨合成系统回收热量约 $2\sim3\times10^6$ 焦耳/吨N。倘大大增加投资, 则可以再提高20%, 若要再进一步增加热回收会使过程发生问题, 因此这种做法似乎不太值得。

7. 新流程

蒸汽转化法的工艺过程和能量平衡是配合得很好的。一段转化的化合氢和热量的平衡, 使出口的甲烷含量恰好在二段转化炉中被除去, 补充热量是由带有必需氮量的空气带来的。二段转化炉出口尽可能小的甲烷含量、最大的变换率、高的二氧化碳脱除效率, 使甲烷化后

的惰性气含量达到最小、氢利用率达到最大的93~95%。

这就需要加大蒸汽碳比，大大超过各催化过程（除甲烷化外）的理论需要量；和要求严格的操作条件。但同时也提供了动力用和过程用的高压蒸汽、足够用于CO₂脱除和锅炉给水预热的低位热等。

倘若想显著减少转化炉主要的能量消耗和熵的变化的热量消耗，则就会立即减少高压蒸汽和低温废热，自然就应相应减少过程蒸汽、动力和低位热量的消耗。这就是我们考虑如何去解决的种种问题。

（1）排放气回收

若能有效地回收排放气可使前面的工序大为简化。如用某种方法（变压吸附、深度冷冻或扩散法）使排放气中的有用组分（氢、氩等）得到回收，自然就不必着重在降低合成气的惰性气含量上。首先可以减小蒸汽/碳。还可以寻找更活泼的催化剂使流程简化，而省略精制工序（如低温变换）。用燃气透平代替蒸汽透平、用吸收法冷冻代替冰机都可以减少高压蒸汽的消耗。甚至最古老的哈柏法的用水吸收合成系统中的氨（代替冷凝法），使之与吸收法冷冻结合起来的方案，也受到某些重视。顺着这条路线必然会提出：采用更好的机器、能使合成压力降低的更好的催化剂或高产量低阻力的新型合成塔、或更高的转化压力，以减少能量消耗。但是提高惰性气含量后，就会加大合成气处理论，从而提高合成系统压缩机的动力消耗和需要加大设备，而可能抵销获得的好处。

（2）合成气的精制

另一途径就是在净化系统想办法，生产出高纯合成气以减少合成系统的吹出气，同时又使转化炉的生产条件不那么苛刻。例如在合成气净化的最后阶段采用一个PSA装置或深冷装置，就可以含CH₄和CO较高的气体中生产出高纯度的合成气。这样一段转化炉就可以较宽的条件运转，二段转化可以取消，而只要高温变换，流程就简单多了。但因没有二段转化炉，就没有引入空气，所需的氮就要从外部找氮源或另由空分装置供给。倘有空分装置，则可用深冷分离（液氮洗）系统来代替PSA系统。

这条路线的主要缺点是需要另外的氮源。除非这种高纯度是另外过程的副产品，否则空分装置的附加投资、低效率和高动力消耗，会抵销所有的好处。有一种方法能生产高纯度的合成气而不需要另外的氮源，却能保持一次转化率操作条件较宽的优点，但此法不能省略普通厂的任何一个工序。Brown净化装置用二段转化除去一段转化出口的所有甲烷，过量的氮连同所含的一切杂质，包括甲烷和氩，以液体状态除去，剩下为纯净的符合配比的氮氢混合气。

上述方法还处于试验研究阶段，因此不能确切估计能量的节约数字。但可以说新的转化流程可以显著减少能耗，每吨N减少到 $30\sim 33\times 10^9$ 焦耳是没有问题的。

四、部分氧化法

主要的气化方法是：

柯柏斯—托切克法 常压、高温（1500℃），能处理从重油至煤粉的几乎所有原料。几乎所有以煤为原料的氨厂都采用这一方法。

谢耳和德士古法 处理重质碳氢化合物,但进一步发展处理煤浆,高压(随设计而定)下操作,温度较柯柏斯-托切克法低(1000°C 左右)。

鲁奇法 主要用于生产燃料气、合成气和合成燃料。在中压和较低温度下操作,原料煤的规格要求较严。英国煤气公司正对熔渣炉进行修改,使所用煤的规格能够扩大。

所有部分氧化法的能耗都比蒸汽转化法大。需要用氧气,这本身就意味着效率低,而且生产出来的原料气中 CO_2 和硫化物都较高,使分离过程的负担加重。这些都使投资和能耗增加(见表4)。

表4 日产1000吨氨厂使用各种原料时的总能耗和相对投资

	总能耗 10^9 焦耳/吨N	相对投资
水的电解	142.4	2.2
煤的气化(常压)	71.2	1.8~2.1
煤的气化(25气压)	59.0	
重油部分氧化	47.4	1.5
轻油蒸汽转化	45.8	1.15
天然气蒸汽转化	39.5	1.0

采用新的净化方法(如用吸收和吸附过程代替低效率的液氮洗)和耐硫变换催化剂,能使部分氧化法氨厂的投资和能量均降低。但是最大的改进,是使全厂在相当高的压力下实现等压过程,即气体不需进一步加压而直接送去合成。上述所有改进都应配合实现这一目标。制造一种活性高的合成触媒,就可使这一过程在100~150巴压力下实现。这样就使能量大大节省,再加上其他过程设备和触煤的改进,部分氧化法就可以一争短长了。