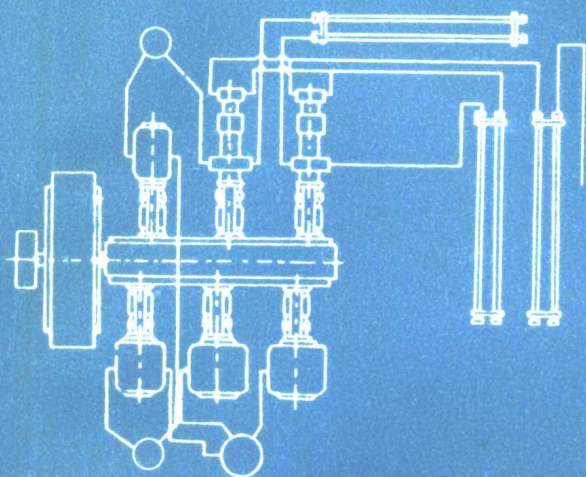




氮肥工业用活塞式压缩机

王迪生 杨绍侃 编著

陕西科学技术出版社

DANFEI
GONGYE
YONG
HUOSAISHI
YASUOJI

氮肥工业用活塞式压缩机

王迪生 杨绍侃 编著

陕西科学技术出版社

氮肥工业用活塞式压缩机

王迪生 杨绍侃 编著

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行 安康地区印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张13.75(插页1)字数286,000

1983年11月第1版 1983年11月第1次印刷

印数1—2,200

统一书号: 15202·56 定价: 1.55元

前 言

本书为压缩机的化工用户,特别是氮肥工业的用户选好、用好、管好压缩机提供了必要的基本理论、计算方法和技术措施知识。并着重分析讨论了压缩机的技术性能、经济指标和可靠性随化工流程及其控制指标的变化而变化的规律。为了切合实际应用,本书以氮肥工业用各种压缩机为例,介绍了化工用压缩机的选型及变工况计算的原理和具体方法。还介绍了压缩机常见机械性故障的产生原因及简易修复方法。

本书可供从事压缩机工作者及技术员、化工机械专业的大专院校师生参考。

本书的第一、二、三、四、六、七章由王迪生编写,第五章由杨绍侃编写。全书的图、表以及有关例题计算工作由史钊协助完成。

本书在编写过程中曾得到陕西省科学技术委员会、石油化工局、机械工业局的关怀和支持。本书由刘益晓、孟庆中工程师审阅。朱彤、党耀武、焦培昌工程师也曾给予不少帮助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免出现缺点和错误,恳请读者予以批评指正。

作者于西安交通大学

一九八一年七月

目 录

第一章 绪 论..... (1)

第一节 氮肥工业与合成氨..... (1)

第二节 合成氨与压缩机..... (9)

第三节 氮肥工业用压缩机类型及其特点..... (11)

第四节 氮肥工业推动了活塞式压缩机的迅速发展..... (13)

第二章 压缩机的理论基础..... (17)

第一节 热力学基础..... (17)

一、气体的状态方程..... (17)

二、压缩过程的热力关系..... (23)

三、压缩机的热力性能参数及其影响因素 (29)

第二节 动力学基础..... (55)

一、压缩机受力分析..... (55)

二、压缩机惯性力和力矩的平衡..... (63)

三、压缩机的转矩平衡..... (72)

第三章 压缩机装置选型..... (78)

第一节 概述..... (78)

第二节	合成氨生产对压缩机的要求	(81)
一、	使用安全可靠、运转率高、操作维修方便	(81)
二、	比功率小、比重量轻、占地少、造价低	(86)
三、	变工况流程适应性强	(87)
(1) 四、	压缩机自动化水平较高	(88)
第三节	氮肥工业中常用活塞式压缩机的类型及其特点	(89)
一、	分类	(89)
二、	结构形式及其特点	(91)
三、	常用结构形式的使用性能比较	(103)
四、	我国氮肥工业中常用的活塞式压缩机实例	(105)
第四节	压缩机的选型计算	(155)
一、	概述	(155)
二、	选型计算的步骤	(155)
三、	制冷用氨压缩机的选用计算	(162)
四、	辅机的选型计算	(168)
第五节	驱动机选型	(171)
一、	驱动机种类及选型原则	(171)
二、	压缩机和驱动机的联结方式	(173)
第四章	压缩机的变工况运转及变工况计算	(174)
第一节	概述	(174)
第二节	工艺流程有关参数变化的影响	(176)

一、吸气压力变化的影响	(178)
二、排气压力变化的影响	(184)
三、各级吸气温度的影响	(186)
四、气体成分变化的影响	(190)
第三节 压缩机结构参数变化的影响	(193)
一、转速变化的影响	(193)
二、余隙容积变化的影响	(201)
三、气缸直径变化的影响	(204)
第四节 流程压缩机变工况计算	(208)
一、特点	(208)
二、压力比计算	(211)
三、排气压力计算	(222)
四、排气量的计算	(224)
五、功率计算	(226)
六、排气温度计算	(227)
第五章 提高压缩机运转可靠性	(229)
第一节 概述	(229)
第二节 故障性质与可靠性指标	(232)
一、故障的性质	(232)
二、可靠性指标	(234)
第三节 可靠性指标的求法	(241)
一、收集数据的方法	(242)
二、数据的分析	(244)
三、应用实例	(263)
第四节 提高运转可靠性的措施	(270)

一、磨损与降低磨损的措施	(270)
二、变形与减轻变形危害的措施	(279)
三、疲劳与提高疲劳极限的措施	(281)
四、振动与减振措施	(286)
五、提高气阀运转可靠性的措施	(293)
六、爆炸与防爆措施	(296)
七、计划预修制	(301)
第六章 压缩机的控制测量	(303)
第一节 概述	(303)
一、控制测量的目的	(303)
二、制控测量的基本原理	(304)
三、测量仪表的品质标准	(306)
四、测量误差及其影响因素	(307)
第二节 压缩机的压力测量	(308)
一、压力测量的意义和单位	(308)
二、常用压力测量仪表种类及其特点	(311)
三、远距离测量压力计(电气式压力计)	(314)
四、压力测量仪表的选择、安装和校验	(317)
第三节 温度测量	(320)
一、温度测量和温标	(320)
二、常用的温度计及其特点	(322)
三、温度计的安装使用及测量误差分析	(326)
第四节 排气量测量	(328)
一、常用的排气量测量方法	(328)
二、孔板节流测量	(330)

三、喷嘴节流测量.....	(335)
第五节 压缩机轴功率测量.....	(342)
一、概述.....	(342)
二、从测定电动机输入功率确定压缩机的 轴功率.....	(344)
三、从测定压缩机的指示功率确定压缩机的 轴功率.....	(347)
第六节 压缩机的转速测量.....	(349)
一、概述.....	(349)
二、离心式转速表测速.....	(350)
三、日光灯法测速.....	(351)
四、闪频测速仪测速.....	(353)
五、转速遥测.....	(353)
第七节 振动测量.....	(354)
一、概述.....	(354)
二、常用的测振仪器及其应用.....	(356)
三、测振结果的分析.....	(361)
第七章 压缩机常见的机械性故障及其修复.....	(363)
第一节 概述.....	(363)
第二节 压缩机装置的常见故障及其原因分析	(367)
一、曲轴及轴承.....	(367)
二、连杆.....	(372)
三、十字头.....	(375)
四、活塞、活塞环、活塞杆.....	(378)

五、气阀.....	(384)
六、填料.....	(390)
七、气缸.....	(395)
八、级间冷却器.....	(398)
九、油泵、注油器.....	(402)
第三节 机械故障修复.....	(405)
一、曲轴的修复.....	(405)
二、厚壁轴瓦的修复.....	(408)
三、连杆的修复.....	(410)
四、十字头的修复.....	(412)
五、活塞、活塞环、活塞杆的修理与更换.....	(413)
六、气阀的修复.....	(414)
七、填料的修复.....	(415)
八、气缸的修复.....	(417)
九、冷却器的修复.....	(420)
十、油泵、注油器的修复.....	(422)

第一章 绪 论

第一节 氮肥工业与合成氨

氮肥工业对农业有很重要的意义，同时还为国民经济其他部门提供许多产品和原料，因此氮肥工业在世界各国的国民经济中，其地位愈来愈为重要。

氮肥工业的首要任务就是制取氮素，并把它固定在不同形态的化合物中，如铵基氮肥通常有：硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ 、碳酸铵 $[\text{NH}_4\text{HCO}_3]$ 、氯化铵 $[\text{NH}_4\text{Cl}]$ 、氨水 $[\text{NH}_4\text{OH}]$ 等；硝基氮肥通常有：硝酸钠 $[\text{NaNO}_3]$ 、硝酸钙 $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ 、硝酸钾 (KNO_3) 等；酰胺基氮肥通常有：尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 、石灰氮 $[\text{CaCH}_2]$ 等；以及既呈铵基形态又呈硝基形态的硝酸铵 $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$ 等。

二十世纪初（1901年～1918年间），科学工作者先后发明了三种从空气中固定氮的方法，即电弧法，氰氨基钙法（又称石灰氮法）和合成氨法，并先后在工业上使用。但是由于前两种方法均需要消耗大量的电能（用电弧法生产每吨氮需要耗电6～7万度，氰氨基钙法也要消耗近2万度，即每吨氮要消耗几十吨煤），由于代价太高，使得这两种方法在工业生产上都丧失了实际意义。

1914～1918年间，德国首先成功地将哈柏—伯希

(Haber—Bosch)合成氨法应用于工业生产中，利用氢气来固定空气中的氮气，两者起化合反应直接生成氨。利用这种方法固定1吨氮只需1200~2500度电力，与电弧法和氰氨基钙法比较自然是十分优越和经济的。因此，直到现在，此法仍占世界上固定氮的方法的90%以上，近年来，由于特别注意能量的综合利用，并采用了先进的工艺，在大型的合成氨企业中，每吨氨的耗电量已降到只需要几十度电力了。

几十年来，合成氨工业的迅速发展，不仅有力地推动了许多科学技术部门，如高压技术、气体分离技术、催化、特殊金属材料、固体燃料气化、液体与气体燃料的合理综合利用等的发展，同时，也为获得更多品种的氮肥开辟了广阔的道路。目前，除了石灰氮之外，所有的氮肥品种都是在合成氨工业的基础上制成的，氮肥中的氮元素几乎都是用合成氨法固定下来的。所以，氮肥工业总是和合成氨生产相联系的，可以说合成氨是氮肥工业的核心。

生产合成氨的工艺流程，根据所采用的原料品种、产品方案、厂区环境、辅助材料供应、设备来源以及技术状况等条件的不同，往往各不相同。即便采用相同的原料，生产同样的产品，流程中的工序有时也不尽相同。例如对于气体的净化，目前以铜洗及甲烷化为主，但也有少数工厂采用液氮洗涤流程。因此，要详细阐述各种流程以及它们之间的各种区别是困难的。

为了建立起合成氨生产过程的基本概念，并着重了解压缩机在工艺流程中的作用，下面按所采用的原料不同，列举我国当前常用的几种合成氨工艺流程，围绕着压缩机，分别

加以简要介绍。

一、以固体为原料采用铜洗法的工艺流程

固体原料包括无烟煤块、焦炭和碳化煤球等。以固体为原料的合成氨厂，当前在我国氮肥厂中占绝大多数，其工艺流程如图 1—1 所示。

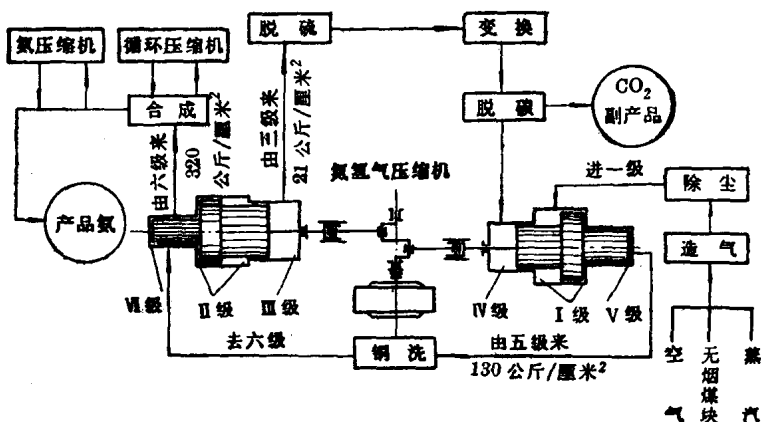


图 1—1 以固体为原料的合成氨工艺流程

一定粒度的无烟煤块或焦炭等在煤气发生炉中，先交替通入空气和蒸汽，制成半水煤气，再经过冷却、洗涤、除尘等过程，进入氮氢压缩机，压缩至一定压力（有 7 公斤力/厘米²、12 公斤力/厘米² 和 21 公斤力/厘米² 等，现以 21 公斤力/厘米² 的为例）送脱硫工段，采取 A. D. A 法、G. V 法和氨水催化法等，去除气体中的硫化氢。然后送往变换工段，使半水煤气中的一氧化碳与蒸汽在触媒的作用下，转变为二氧化

碳和氢。再经脱碳工段，可采用氨基乙酸法、G. V法、本菲尔特法和高压水洗法等，除去二氧化碳。脱碳后的气体返回氮氢压缩机，压缩至 130 公斤力/厘米²左右，送入铜洗工段，以醋酸铜氨液和氨水洗涤气体中残余的一氧化碳和二氧化碳。铜洗后的气体又返回压缩机，压缩至合成压力 320 公斤力/厘米²，送入合成塔，在触媒作用下，氮氢气合成为氨。未合成为氨的氮氢气借助循环压缩机，进行增压，补偿由于合成过程而造成的压力损失，再进入合成塔，继续进行合成。

这里，应特别介绍一下固体原料的碳化流程，该流程是我国创造的。目前，全国小型氮肥厂中的绝大多数及中型氮肥厂的一部分，均采用这种流程。

碳化流程的主要特点是，用自身生产的氨制成氨水去脱除变换气中的二氧化碳，同时制成肥料成品碳酸氢铵。

小型氮肥厂按原定型设计，生产规模分为年产5000吨合成氨和年产3000吨合成氨两种。按变换和碳化操作压力又分为常压型和加压型两种，3000吨型氨合成操作压力为 150 公斤力/厘米²，5000吨型的为320公斤力/厘米²，两种类型的工艺的流程基本上相同。现以5000吨型加压变换碳化厂为例，其工艺流程如图 1—2 所示。从图中可以看出，工艺流程分为造气、脱硫、压缩、变换、碳化、铜洗及合成七个工序。由于用自身生产的氨去脱除CO₂，同时就得到产品，故流程短，设备简单。但有时也带来一个问题，就是所谓氨平衡问题，即生产的氨是否够清除变换气中的二氧化碳。不过通常情况下，只要生产情况正常，氨平衡是不会有问题的。曾有一小部分小型氮肥厂，在变换与碳化之间加有水洗过

程,在碳化操作万一不正常时,可以部分解决氨平衡的问题。

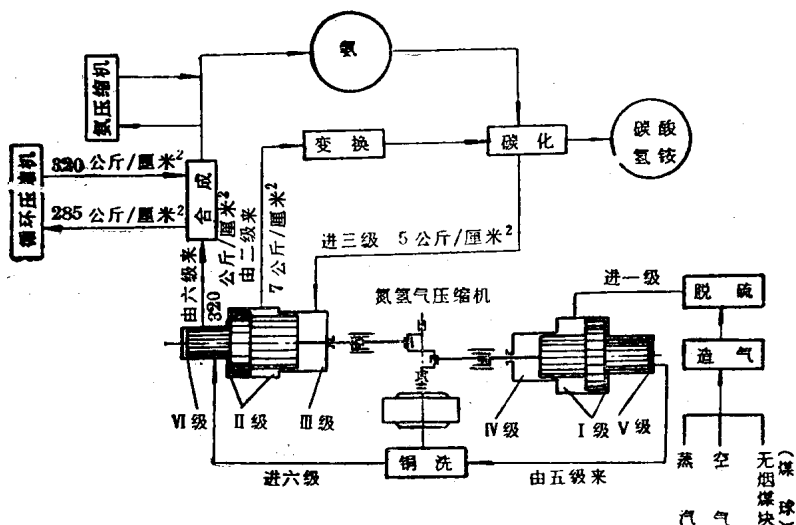


图 1—2 以固体为原料双加压碳化流程图

二、以液体为原料采用甲烷化的工艺流程

液体原料包括原油以及由原油加工所得到的轻油、重油等都可以使用,这里仅以重油为原料生产合成氨为例,其工艺流程如图 1—3 所示。

重油、蒸汽、氧化预热至一定温度,经喷油嘴装置均匀喷入气化炉,在压力为30公斤力/厘米²(重油气化有常压法及加压法,现以加压法为例),温度为1350℃的条件下,进行部分氧化反应,生成含氢气、一氧化碳很高的气体,经清除炭黑之后,进入中温变换装置,把气体中的一氧化碳转变

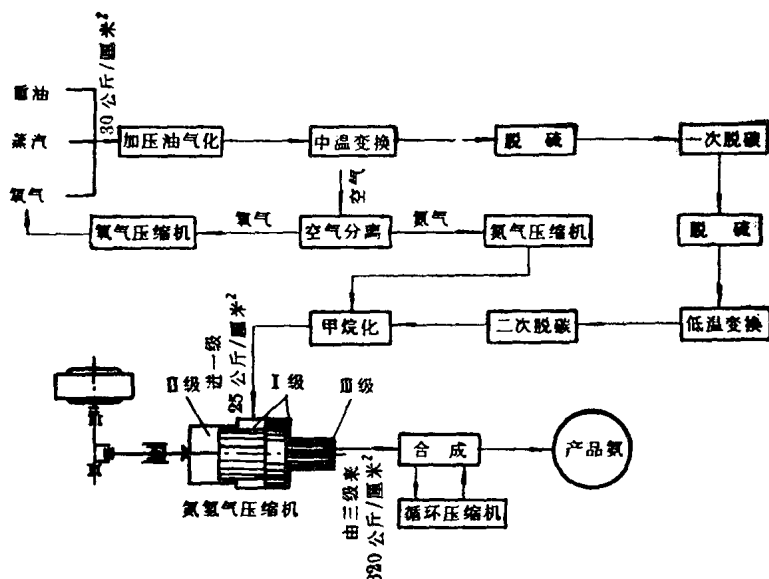


图 1—3 以液体为原料采用甲烷化法的工艺流程

为氢气和二氧化碳，再依次经脱硫，一次脱碳，再次脱硫，进入低温变换及二次脱碳，进一步清洗气体中的一氧化碳和二氧化碳，然后送入甲烷化炉，以清除残余的一氧化碳和二氧化碳。再进入氮氢压缩机，把气体压缩至320公斤力/厘米²送入合成塔进行氨的合成。未合成的氮氢气，由循环压缩机进行增压，继续进入合成塔不断地循环合成。

在上述基本流程的基础上，也有采用液氮洗涤法去除残余的一氧化碳，其流程如图 1—4 所示。和上述流程一样，加压气化后的原料气，含有大量的氢和一氧化碳，经清除炭黑、脱硫之后，进入一氧化碳变换装置，把气体中的一氧化碳

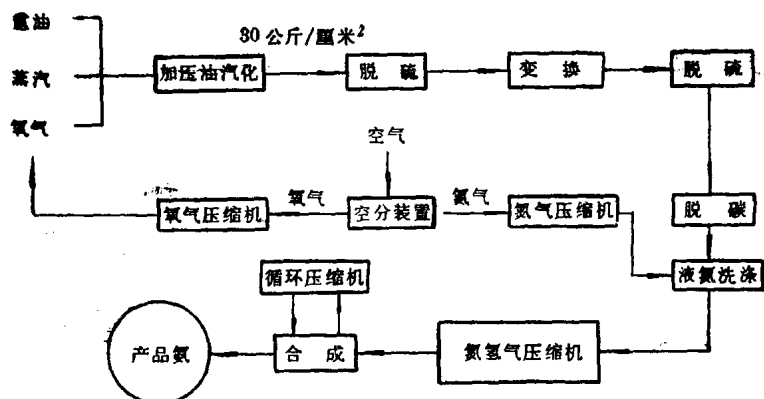


图 1—4 以液体为原料采用液氮洗涤法工艺流程

转变为氢气和二氧化碳。在变换过程中，原料气中的有机硫转变为无机硫，故需再次脱硫，然后送往脱碳。经过两步脱碳，清除气体中的残余的二氧化碳，再用液氮洗涤以除去残余的一氧化碳。经过液氮洗涤过的气体，已添加了氮气，使氮氢比达到 1 : 3，送入氮氢压缩机，压缩至 320 公斤力/厘米²，送入合成塔进行氨合成。未合成的氮氢气仍然由循环压缩机增压，继续循环合成。

三、以气体为原料采用甲烷化法的工艺流程

气体原料包括天然气、油田气、炼厂气、焦炉气等。

图 1—5 所示为以天然气为原料生产合成氨的通用流程。

天然气在 20~30 公斤力/厘米² 的压力下（如天然气压力较低，需采用原料气压缩机，压缩至 20~30 公斤力/厘米²）