

國外化工用透平壓縮機 發展概況

第一分冊 綜述

5.4
上海科学技术情报研究所

国外化工用透平压缩机发展概况

第一分册 综述

*

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

*

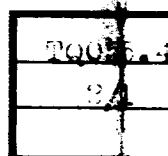
开本: 787×1092 1/16 印张: 3 字数: 77,000

1975年4月第1版 1975年4月第1次印刷

印数: 1—4,000

代号: 151634·228 定价: 0.40 元

(只限国内发行)



毛主席语录

深挖洞，广积粮，不称霸。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

洋为中用。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革新。

前 言

在毛主席革命路线指引下，举国上下，各条战线都出现了欣欣向荣的跃进景象。化学工业战线亦不例外。

化学工业战线的广大工人、干部和科技人员，在批林批孔运动推动下，以及在大干快上的革命精神鼓舞下，在研制和掌握新工艺、新技术、新设备、新材料方面取得了不少进展，符合我国特点的社会主义化学工业体系正在充实和完善，具有先进水平的化工企业和设备正在建设和投产。我们一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

透平压缩机是化工的关键设备之一，它和往复式压缩机相比，具有速度高、尺寸小、调节性能好、占地少、投资省、操作费用低、维修简便、运转平稳等优点，即使效率也有可能超过往复式压缩机。因此，近二十年来，各国都相竞把透平压缩机的应用领域扩展到化工各个部门，用于压缩各种不同的气体。随着化工设备的大容量化，透平压缩机的终压已经发展到了目前往复式压缩机所能达到的水平，且在低压缩比下越来越多地采用轴流式压缩机。显然，透平压缩机有着十分宽广的发展前途。

在我国化工行业，也十分注意采用透平压缩机，研制、生产和使用透平压缩机的单位越来越多。为了配合这方面的需要，我们会同上海机电一局情报站、上海鼓风机厂、上海压缩机厂、上海第一冷冻机厂、上海汽轮机厂、上海化工机修总厂、大隆机器厂、上海化工学院、上海机械学院、上海交通大学、上海化工研究院等单位，收集、翻译、编写了《国外化工用透平压缩机发展概况》一书。本书共分四个分册：第一分册——综述；第二分册——设计与计算；第三分册——结构与试验；第四分册——制造、运行与维护。在工作过程中，我们还得到了全国压缩机行业华东地区情报网、南京压缩机厂、南京化工学院、通用机械研究所等单位的支持，表示感谢。

由于时间仓促，水平有限，缺点错误恐难避免，希望读者批评指正。

上海科学技术情报研究所

一九七五年二月

目 录

前言

第一章 概述	(1)
一、离心压缩机的结构与用途	(1)
二、离心压缩机的设计特点	(2)
参考文献	
第二章 化工用透平压缩机的现状	(4)
一、发展概况	(4)
二、合成氨用透平压缩机	(6)
三、空分用透平压缩机	(10)
四、石油精炼用透平压缩机	(13)
五、石油化工用透平压缩机	(15)
六、天然气用透平压缩机	(19)
七、液化天然气和制冷用透平压缩机	(20)
八、硝酸用透平压缩机	(21)
九、其他化工用透平压缩机	(22)
参考文献	
第三章 化工用透平压缩机的发展趋势	(24)
一、大容量化	(24)
二、低噪音化	(25)
三、定型化	(25)
四、高压化	(26)
五、高效化	(26)
六、结构合理化	(26)
参考文献	
第四章 化工用透平压缩机的关键问题	(28)
一、设计和材料选择	(28)
二、制造、质量控制和装配	(28)
三、性能	(28)
四、动力学作用	(28)
五、关键部件和系统	(29)
六、振动作用	(30)
七、流量调节	(30)
八、气体性质影响	(31)
九、污染影响	(31)
参考文献	

第五章 化工用透平压缩机的选材问题.....	(33)
一、叶轮的材料.....	(33)
二、硫化破坏.....	(35)
三、氢脆.....	(37)
四、低温脆性破坏.....	(39)
五、形稳性.....	(41)
参考文献	
附录.....	(43)

第一章 概 述

透平压缩机,是使气体获得大量能量,并使之转化为压力以及将其升高的设备。工业生产中常用的有两种:轴流式压缩机和离心式压缩机。在轴流式压缩机中,气体沿轴向流动;而在离心式压缩机中,气体沿径向流动,所以也可称作径向透平压缩机。

随着化学工业的发展,使透平压缩机的用途打开了新的局面。如城市煤气高压精制用气体压缩机、石油精炼用高压气体循环用压缩机、深冷分离装置用各种气体压缩机、冷冻装置用制冷剂气体压缩机、各种合成化学工业中的空气压缩机和气体循环用压缩机等,其压力都很高,以前几乎都采用往复式压缩机,但由于装置的大容量化以及透平压缩机制造技术的进步,逐渐由往复式压缩机过渡到透平压缩机^[1]。在化学工业中用得较多的是离心压缩机。

一、离心压缩机的结构与用途

离心压缩机分为筒形和水平剖分式两种。

筒形离心压缩机又称垂直剖分式离心压缩机。在石油工业的精炼装置和脱硫装置上,需要用离心压缩机来循环大量的氢与碳氢的混合气体。这种混合气的分子量很小,仅为3~10,压力约为20~200绝对大气压。因分子量小,就容易泄漏,为此一般采用筒形离心压缩机。但为了防止气体从缸盖的轴孔间隙部分泄漏,还采用油膜密封等。在合成氨、甲醇和尿素等合成化学的部门中,要求用50~350绝对大气压的离心压缩机来压缩各种合成气,为此亦需采用能承受高压的筒形结构^[2]。

如在合成氨上,合成气压缩机的吸入压力约25绝对大气压,排出压力为150~350绝对大气压。根据其压缩比,需用2~4个气缸。从设备容量考虑,500吨/日合成氨装置采用离心压缩机较适合。

甲醇合成用离心压缩机,由于所用流程不同,其合成压力有很大差别,从低压法的50绝对大气压到高压法的350绝对大气压。对于100吨/日的低压法装置,以及对于500吨/日的高压法装置,宜于采用离心压缩机。由于氨合成气和甲醇合成气都含有大量氢气,轴封应采用油膜密封。

合成尿素时,如合成压力为130绝对大气压,容量在500吨/日以上,或者合成压力为350绝对大气压,容量在1,200吨/日以上,采用离心压缩机比较合适。尿素的合成气是二氧化碳,低压缸可使用水平剖分式,仅高压缸采用筒形结构。轴封可采用迷宫密封,将高压缸的迷宫室与低压缸的吸入管相连,这样可大大减少气体泄漏量。

在合成尿素和甲醇时,工作气体都是二氧化碳,因而要注意材料的选择。合成用的离心压缩机,其排出压力都很高,工作气体的流量又非常小,所以压缩机内的流道宽度比一般的压缩机要窄得多,特别是小出口宽度叶轮的精加工是合成气压缩机的一个关键,经过机加工的轮盘、轮盖和叶片可以用通过叶片的铆钉使其组成一体的铆接方法,也可以在整体材料上用电蚀法加工出流道。当然后一种方法无论在加工精度还是在强度上都较好^[2,3]。

水平剖分式离心压缩机是使用十分广泛的一种型式,开始用作各种设备的过程空气压缩机,如在石油工业中用作流动床催化裂

化设备和润滑油设备的气体压缩机,在乙烯装置上用作裂解气压缩机和丙烯、乙烯的冷冻机,在合成氨设备中用作原料气压缩机、空气压缩机和冷冻压缩机等。对于空气、氮气及二氧化碳等,轴封一般采用迷宫密封,而冷冻压缩机和含有碳化氢的工作气体,其轴封也有采用油膜密封^[2]。

二、离心压缩机的设计特点

下面简述离心压缩机主要部分的设计特点。

1. 机壳

对水平剖分式或垂直剖分式机壳来说,如何得到完整无损的钢铸件,仍然是个较大的问题。所以在设计时一般分成两半来铸造标准筒形机壳,然后把这两半机壳同心地沿圆周焊接在一起。

采用进出口端分开的结构,两部分分开制模、铸造和修补,以及同心焊接,当然会增加费用,但浇注这种较为简单的铸件,废品率低,因而亦可弥补费用大的不足之处。

对于较高压力,应采用锻钢筒形机壳和端盖。操作压力超过 250 公斤/厘米²时,高强度钢螺栓结构不能提供保持高压所需的强度,因而为了把端盖上紧在筒形机壳上,必须采用别的方法。

2. 工作叶轮

在化学工业中,应力腐蚀是设计部件特别是工作叶轮时需解决的一大问题。为此尽量不用铆接方法,以使应力腐蚀减少到最低限度。

试验表明,用电火花加工不锈钢均质锻件,可制成合乎标准的整体工作叶轮。如将其作合适的时效处理,就不会出现因应力腐蚀而引起的破坏。但在实验室试验中发现,电火花加工的表面有一熔融层,其上出现细小的表面裂纹,这样会恶化抗应力腐蚀性能,缩短疲劳寿命,后通过电蚀法予以解决。

据称计算机已成功地用于预示整体工作叶轮中的应力。它考虑到三元应力模型,并对由于前后轮盖相对运动所引起的叶片弯曲应力予以特别注意。该程序已为外径为 405 毫米,在轴上转动的工作叶轮的应变测量所证实。当然在一定状态下,计算应力和测量应力之间不一致,其原因在于简化计算机程序时作了一定的假设所致,修改程序后即可比较一致。

3. 轴

设计轴时,一般不用中间套筒和迷宫式密封,以消除这些部件由于电解作用而造成的损坏,此外还可增加轴的刚度。

经验证明,在工作叶轮轮毂处采用键,以及将工作叶轮红套在轴上而产生的剩余锁紧应力,都会影响机器的平衡。为了消除此种可能会导致故障的根源,对设计作了某些修改,并发展了一种工作叶轮装轴新工艺。每一工作叶轮经过超速和平衡试验以后,将其红套在轴上;工作叶轮的轴向位置由轴肩定位。由于采用喷油工艺而使工作叶轮正确地“浮”着,使它更均匀地“坐”在轴上。如果用了正确的过盈配合,就不必要键。

轴的两端在密封轴颈和轴承轴颈处装有轴套,它由优质软钢制成,如由于油中的杂质而被磨损,也易于更换。联轴器和止推环用喷油方法安装在轴端,并在需要维修轴颈和密封时易于拆装。

4. 扩压器

要尽可能提供具有无叶的即自由旋涡扩压器的机器。这种离心压缩机具有较平坦的特性曲线,因而有较好的“扩大工况”的优点。在一定情况下,没有导叶可消除有时在高密度气体中可能产生振动的根源。在许多流程中,气体压缩机于不同的负荷下输送分子量各异的气体时,各级之间配合不好往往是难免的,因而具有无叶扩压器的级的较宽运行特性,可有助于解决此一问题。当后其他方法还有,但不及它简便。

5. 隔板

隔板是作为标准部件铸造的,然后加工与每一级配合。在尺寸较小的机壳上,对于水平剖分式和垂直剖分式机器,采用一种标准式样的隔板。

6. 轴承

摇块型支承轴承用于化工厂的大多数机器中,特别是用在那些具有油膜轴颈型密封的机器中。这种轴承的优点在于,具有抗旋涡能力,以及多数油楔的稳定性,此外可在静止和转动位置之间垂直起落。从而保证轴承的寿命能够延长。

7. 密封

轴的密封装置是任何化工厂用压缩机的最重要部件之一。密封要设计成在操作时可使冷却油连续流动,它流过气体侧浮动环的外侧,并沿轴颈流动一短距离后就被挡住,然后离开密封回油槽。

以前曾有这样的困难,即阻止油流过气体侧密封的外侧,越过使环浮动的研磨面而进入气流。有种O形环可用于阻止漏油,但又发现在一定操作条件下,即使保证两个面仍然接触的弹簧压力已经改变,O形环仍要变成卵形,且发生严重磨伤,因而后来改用一种矩形截面的橡皮环,形状象剪切块。要防止金属和金属相互接触,且材料的等级和两个面(矩形环的凸出部分)之间的间隙,决定着浮动环的特性。但通过浮动环气体侧的少

量油会形成油雾,此种现象可用一种“桨轮”型导流叶来消除。

经验表明,充气是保证机器无油的一种较好方法^[4]。运行经验亦表明,一种砂型铸造的铝合金气封材料,提供了良好的抗蚀性能,同时具有适当的柔度和传热性能。因而在最重要的部位要使铝合金弹簧座式气封标准化。

在轴端迷宫式密封的内侧处,备有一个45°角接口的较大余隙,它与筒形压缩机上的轴颈型密封相连。这种45°角接口,使安装和维护大为方便,因为它可使轴保持在机器的中心线上,在拆检轴颈和密封或从外筒拆下内部隔板的组装件时,容易清洗所有迷宫式密封。

在内部隔板组装件和外筒之间采用金属密封。如采用橡胶O形环,存在三大缺点:一是在某些气体的运行温度和压力下,它要断裂;二是它易于变形,O形环在检修和密封损坏时会很快变成卵形;三是它在隔板组装件装入外筒时容易破裂。

参 考 文 献

- [1] 产业机械 1966年190期65~70页
- [2] 生产技术 1972年27卷1期13~19页
- [3] 产业机械 1971年7期39~45页
- [4] Industrial Reciprocating and Rotary Compressors: Design and Operational problems 45~53页

第二章 化工用透平压缩机的现状

一、发展概况

最近二十年中,透平压缩机的应用范围发生了很大变化。以前它主要应用于压缩空气,如矿山供给压缩空气及高炉鼓风。大约在四十年前,透平压缩机第一次用于化工流程中,从此,透平压缩机从应用于输送空气过渡到大量输送各种不同的气体。

随着化学工业的发展,对流体机械的需要大量增加。由于化工生产过程几乎都是连续的,必须采用维修量和运行事故极少的设备,而透平压缩机完全符合这些要求。

随着化工设备规模的不断增大,透平压缩机通过种种技术改进已发展到了当今活塞式压缩机(它可压缩介质至2,000公斤/毫米²^[1])所达到的高压(3,000巴以上)^[2],且在较低压缩比情况下越来越多地采用轴流式压缩机。目前的离心压缩机具有下列特性:增压线的最小流量为200~350米³/时,吸入时的最大流量为30~45万米³/时,最大压力为500公斤/厘米²,工作叶轮最多为9~10,壳体最多为3~4个^[4],出口温度为180~200°C,最大转速为18,000转/分,额定功率为300~100,000马力^[3,4]。为了有效地密封,采用了垂直剖分壳体(筒形压缩机)^[5]。

另一方面,随着透平压缩机流体力学的发展和加工技术的进步,这种结构的压缩机,其应用范围向小流量发展,过去一个叶轮的有效流量约以1,000米³/时进行计算,而目前该值已减小到500米³/时以下。通道极窄的叶轮,其加工不是用整块锻件来铣,便是用电解法或电蚀加工。

透平压缩机的主要优点是,压缩的气体

不受润滑油污染,调节性能良好,控制气量的变动范围广,维修简单,运转率高,备件需要量少,运转平稳,一次投资少,以及占地少,仅为性能相同的往复式压缩机的四分之一。缺点是效率通常低于往复式压缩机。因为利用动力学方法来压缩气体,即用高速旋转提高功能,并将动能转化为压力,这种方法的效率相当差,其原因是气体通过进口通道,进入并通过叶轮,以及最后通过出口通道时,都会发生能量损失。但精心的设计可以减少一些损失,甚至其效率还能超过往复式压缩机。

根据透平压缩机在化学工业中的任务,大体可分为三组^[6]:1)在于克服管路和设备的阻力来输送介质(功率达一万瓩或更大);2)根据化学反应的要求将气体压缩到较高压力;3)压缩致冷流程的气体。

例如在石油化工中,液态原油经过精炼、裂解、重整等过程而分馏出不同的组分,且这些过程中要除去各种不同的有害杂质如硫和硫醇。裂解和重整过程需要压缩气态碳氢化合物。而在裂解时生成乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯情况下,当压力一般低于40公斤/厘米²时,压缩机采用水平剖分式机壳,气体进口温度可低至-100°C。在重整时,富氢的循环气体通过催化剂,一般在35公斤/厘米²压力下进行操作。当存在大量循环气体时,则采用具有筒形机壳的离心压缩机。

又如天然气工业中,不含有害杂质的天然气可通过管道系统直接送至用户。天然气管线需在一定距离上安有升压装置,以弥补压力降。为了能在槽船中把天然气经济地运至用户,许多国家都将天然气液化,而液化过程也需要压缩机^[7]。

根据氨和甲醇的工艺特点,为使压力增

至 300 大气压或更高, 必须采用多级离心压缩机, 其功率达 30,000 瓩, 转数达 15,000 转/分^[8]。

在有机和无机化工中, 有许多流程可提供多种产品, 主要是肥料。水平剖分式离心压缩机用来压缩氨、氧化氮和氧化碳(低压流

程), 而筒形离心压缩机用于压缩合成气体和二氧化碳(高压流程)。被压缩气体还有氮、氧、氯、二氧化硫、天然气、空气等。

目前石油化工用和合成化学工业用透平压缩机, 其大体容量范围见表 1^[9]; 透平压缩机在化工中的应用情况, 大致见表 2^[10]。

表 1

	流量, 米 ³ /时	吸入压力, 公斤/厘米 ²	排出压力, 公斤/厘米 ²	介 质
空 气 压 缩 机	5,000~40,000	大 气 压	15~50	空气
气 体 压 缩 机	10,000~50,000	约 大 气 压	10~40	碳氢化合物气体、焦炉气、二氧化碳、氧、氮等
气 体 循 环 机	1,000~10,000	20~30	30~50	碳氢化合物气体、氢、氨、二氧化碳等
冷 冻 机	5,000~50,000	约 大 气 压	15~20	氨、乙烯、丙烷、丙烯等

表 2

用 途	(装置) 容 量	实际吸入气量, 米 ³ /分	排 出 压 力, 表压	机壳(气缸)数
丙烯腈	700~900 吨/日	—	—	—
空 气		1,600	2	1
丙 烯		100	19	1
氨	800~1,500 吨/日	—	—	—
合成气		1,200	210	2~3
空 气		1,000	35	2
氨		350	15	2
乙烯	30~50 万吨/年	—	—	—
裂解气体		1,200	37	3
丙 烯		1,200	17	1
乙 烯		200	19	1
甲醇(低压合成)	1,000~2,000 吨/日	—	—	—
合成气体		450	50	2
循环气体		900	50	1
尿素	1,000~1,500 吨/日	—	—	—
二氧化碳(气)		350	30	1
天然气液化	100 万吨/年	—	—	—
丙烷		1,700	16	1
混合制冷剂		1,900	43	2
石油密制	1.4~6 万桶/日 3.5~5 万桶/日 2.7~7 万桶/日 ~6 万桶/日	—	—	—
重油间接脱硫		40	70	1
催化重整		560	26	1
重油直接脱硫		50	220	1
流动床催化裂化		750	16	1
烃化		1,000	2	1

二、合成氨用透平压缩机

国外合成氨厂的生产规模日益扩大,五十年代为 200 吨/日,六十年代初为 400 吨/日,七十年代为 1,500 吨/日。美国凯洛格公司设计了日产 1,700 吨的合成氨装置。

在大容量合成氨装置中,采用透平压缩机和往复式压缩机相比,具有降低成本的优点。罗马尼亚有家日产 1,000 吨合成氨的工厂,采用透平压缩机后,成本比采用往复式压缩机时降低四分之一左右,其原因大体如下:

1)采用离心压缩机后投资降低 60~70%,汽轮机-离心压缩机组的价格比电动机-往复式压缩机组便宜得多,占地少(少 55%)基建管路费用也低(低 60~70%)。2)操作人员可以减少 40~50%。该厂仅用一台离心压缩机组来压缩合成气和循环气,而另一厂虽采用了比较新型的对称平衡压缩机,但需四台。3)离心压缩机的使用效率比往复式高(约高 2%),因为没有阀门、活塞环等易损零件,无需经常维护检修,每年维护费用约减少 20% 左右。4)采用汽轮机驱动后,蒸汽来自各个

热量回收装置,几乎可以不用电力驱动,全厂综合热效率高达 70%。5)在化工设备上,往复式压缩机必须使用石墨或聚四氟乙烯的活塞环作为无油润滑机件,才能避免油混入工艺介质;而离心压缩机无油混入气体。6)离心压缩机比往复式压缩机更能适用于大容量的生产场合。7)循环机中升压比极小,因此在理论计算上,往复式压缩机的效率比离心式高 5~10%,但由于往复式压缩机的阀门损失占了相当大的比例,因而实际使用效果,离心压缩机高于往复式。据分析,离心压缩机用于 500 吨/日合成氨装置在经济上是有利的。

根据石油精制用筒形高压离心压缩机的设计,在设计合成氨用 350 公斤/厘米²的筒形离心压缩机时,会碰到下列一些问题,即高压气体的轴封,出口宽度小的叶轮制造方法和流体性能,以及推力的减低和止推轴承。这些问题可通过试验操作或实验来予以解决。如日本由新比隆公司 1965 年设计的 1,100 吨/日合成氨装置用合成气压缩机,其设计条件和试验结果归纳于表 3^[1]。

由表可知,该压缩机设计速度为 14,000

表 3

	合 成 气		循 环 气		合成气+循环气	
	设 计	试 验	设 计	试 验	设 计	试 验
转数,转/分	14,100	13,800	14,100	13,800		
吸入温度,°C	15	44	15	48		
气体定数,米/°K	97.8	103.6	77.7	103.6		
吸入风量,米 ³ /时	883	887	3,215	3,170		
吸入压力,公斤/厘米 ² 绝对	185	186.5	271	245		
排出压力,公斤/厘米 ² 绝对	278	268	291	259		
压缩比	1.502	1.437	1.0738	1.0572		
修正压缩比		1.515		1.0828		
流体轴动力,瓩		2.790		2,280		
全流体轴动力,瓩						5,070
机械损失,瓩						210
全轴动力,瓩					5,960	5,280

表 4

订 户	装 置 容 量, 吨/日	合成气排出压力, 大气压	循环气排出压力, 大气压	转速, 转/分	动 力, 匹
挪 威	1,100	278	291	15,000	20,300
法 国	1,000	220	220	12,400	27,700
芬 兰	750	274	294	14,200	13,600
印 度	600	250	250	14,600	12,600
印 度	600	250	250	14,600	12,800
美 国	600s	315	330	14,600	11,800
意 大 利	600	230	244	13,700	8,100
古 巴	750	244	250	14,000	13,000
印 度	600	250	250	14,600	11,800
科 威 特	900	257	275	13,950	15,000
保 加 利 亚	600s	321	330	14,600	13,200
罗 马 尼 亚	1,100	323	341	13,300	20,000

转/分, 实际上 13,800 转/分就能满足设计条件, 轴动力也比设计值小。从合成气压缩机整个性能的现场试验结果, 表明其性能将设计值提高了, 且自 1968 年以来一直在顺利运转, 有关结果如表 4^[11]。

就国外来看, 氨用透平压缩机的结构设计特点如下:

1. 机壳均为筒型, 由锻钢或铸钢制成。吸入管和排出管均焊在机壳上。

2. 扩压器大多采用平行壁无叶扩压器。在流量系数和叶轮出口角都较小时, 也可采用叶片扩压器。

3. 由于转速高, 负荷轻, 一般采用多油楔径向轴承。这种轴承对防油膜振动是有利的。

4. 高压离心压缩机的残余轴向推力, 由自动调心向迭块或止推轴承承受。有的还采用超补偿的平衡结构。采用双向或双作用的止推轴承, 以达到补偿作用。也有厂家将轴

向力由齿轮箱低速推力轴承承受, 因而更安全可靠。

5. 通常采用油膜密封的轴封结构。浮环与轴之间的间隙为轴径的 0.0005~0.001。密封油由一高位油罐供给, 密封油压力比缸内气体压力高 0.35~1.4 公斤/厘米²。

6. 高压压缩机一般都在第一第二阶临界转速之间工作。为了保证安全可靠, 在额定转速的 75~105% 的范围内, 双振幅极限应低于 0.025~0.038 毫米。因此除了轴的外伸部分长度应尽可能短以及采用轻巧的齿轮联轴器外, 转子及其全部零件必须经过高度的平衡。

氨用透平压缩机的主要生产厂是美国的克拉克公司、库佩尔-俾斯麦公司、魏塞莱公司, 意大利的新比隆公司, 瑞士的苏尔寿公司, 日本的三菱重工, 法国的欧坦葛公司。它们所生产合成氨用透平压缩机的主要性能分别示于表 5~11^[12]。

表5 美国克拉克公司 1,500 吨/日合成氨用离心压缩机性能

	排出压力 220 公斤/厘米 ²				排出压力 340 公斤/厘米 ²			
型式	463B5/4		373BR8/1		463B5/5	272B5/5	272BR7/1	
压流段	1	2	3	循环级	1	2	4	循环级
气体	合成原料气			循环气	合成原料气			循环气
分子量	8.4			10.3	8.7			10.9
吸入流量,米 ³ /时	9,200			5,500	8,250			2,800
吸入压力,公斤/厘米 ²	27	49	79	200	26	52	100	210 306
排出压力,公斤/厘米 ²	48	80	207	220	51	99	209	328 339
需用动力,马力	34,800				38,200			
转速,转/分	10,500				11,200			
叶轮数	5		4	8 1	5	4	10	7 1
叶轮直径,毫米	530		530	420 420	530	530	420	420 420
轴封	油膜密封				油膜密封			
重量,吨	13			24	24	37		41
原动机	28,600 瓩汽轮机				31,400 瓩汽轮机			

表6 美国库佩尔-俾斯麦公司 1,000 吨/日合成氨用离心压缩机性能

型 号	介 质	流 量, 标米 ³ /时	进口压力, 公斤/厘米 ²	出口压力, 公斤/厘米 ²	转 速, 转/分	功 率, 瓩	原 动 机
RC10-9B	合 成 气	4,970	28	95.8			
RB9B	"	1,532	94.7	201	11,450	18,130	汽 轮 机
RB10-9B	"	771	199	343			

表7 美国魏赛莱公司 555 吨/日合成氨用离心压缩机性能

	BCL 407	BCL 407/a	BCL 306/b	2BCL 306/b	循 环 级
流量,标米 ³ /时	64,300	64,300	64,300	64,300	267,000
吸入压力,公斤/厘米 ²	24.6	62	139	225	310
吸入温度,°C	38	38	38	38	30
吸入流量,米 ³ /时	3,160	1,280	0	390	1,200
排出压力,公斤/厘米 ²	63	141	232	315	330
排出温度,°C	187	175	123	105	40
排出流量,米 ³ /时	1,280	800	450	340	1,170
叶轮直径,毫米	410	410	350	350	325
需用动力,瓩			11,800		
水温,°C			30°C		
转速,转/分 η_{k1}	7,875	7,670	8,760	7,950	
η_{k2}	21,830	23,020	21,800	22,080	

表 8 意大利新比隆公司合成氨用透平压缩机性能

装置容量, 吨/日	型 号	介 质	流 量, 标米 ³ /时	进口压力, 公斤/厘米 ²	出口压力, 公斤/厘米 ²	转 速, 转/分	功 率, 瓩	原 动 机
1,100	BCL407	合成气	134,000	25	57.75	15,000	20,120	电 机
	BCL407a	"	13,200	56	123	15,000		电 机
	BCL306a	"	131,000	121	193.5	14,100		汽 轮 机
	BCL306b	"	132,000	191	278	14,100		汽 轮 机
100	RC8B	"	5,800	25.2	71	11,100	17,900	汽 轮 机
	RC7B	"	2,130	70	124	11,100		
	RC10-8B	"	1,270	122.5	216	12,020		
		循环气	3,370	206	230			

表 9 瑞士苏尔寿公司合成氨压缩机性能

装置容量, 吨/日	介 质	吸 气 量, 米 ³ /时	吸入压力, 公斤/厘米 ²	排出压力, 公斤/厘米 ²	转 速, 转/分	功 率, 瓩	原 动 机
900	合 成 气		26.37	169.5	17,060	17,500	汽 轮 机
	循 环 气		154	164.5	17,060		
1,000	合 成 气	129,000	25	305	14,580	25,500	
	循 环 气	500,000	302.5	325	14,580	24,700	

表 10 日本三菱重工 1,360 吨/日合成氨透平压缩机性能

型 号	介 质	流 量, 标米 ³ /时	进口压力, 公斤/厘米 ²	出口压力, 公斤/厘米 ²	转速,转/分	功率,瓩	原 动 机
463B5/5	合 成 气	8,300	26	102			汽 轮 机
272B5/5	"	1,900	101	221			
272BR7/1	合成气+ 循环气	1,000	220	337	11,200	28,500	

表 11 法国欧坦葛公司 1,000 吨/日合成氨用离心压缩机性能(12,500 转/分)

	一 缸	二 缸	三 缸	四 缸
流量,标米 ³ /时	119,000	117,000	117,000	604,000
吸入压力,公斤/厘米 ²	26	61	131	206
吸入温度,°C	28	29	29	22
吸入流量,米 ³ /时	5,300	2,200	1,100	3,700
排出压力,公斤/厘米 ²	62	132	214	223
排出温度,°C	146	144	107	32
排出流量,米 ³ /时	3,140	1,470	840	3,530
叶轮外径,毫米	294	420	420	370
功率,瓩		65,370		
转速 K ₁ , 转/分	6,900	6,860	7,370	
K ₂ , 转/分	20,000	20,000	23,700	
热效率, %	76	68	61	75

下面附带介绍几种新近发展的氨用透平压缩机^[13]。

1. 有台合成氨用循环压缩机, 和电机装在一个壳体内。两台机器的转速为每分钟 3,600 转或 3,000 转, 支承采用滚动轴承, 由此润滑所需的油量很少, 并避免了轴穿过受压的壳体, 通过壳体的接头只是特殊结构的电机引线。这种循环机的气量为 $370 \text{ 米}^3/\text{时}$, 压升为 443~460 绝对大气压。

2. 有台合成氨用透平压缩机, 其轴向推力的平衡靠一个活塞。通过高压侧和活塞后面的低压侧小隙缝的开启和关闭, 活塞可自动调节压力, 以便与推力平衡。该设备的气量为 $100,000 \text{ 标米}^3/\text{时}$, 压力由 225 压缩到 300 表压, 转速 14,000 转/分。

3. 有台三缸合成氨用透平压缩机, 气量为 $9,800 \text{ 米}^3/\text{时}$, 进口压力为 0.5 绝对压力, 进口温度为 10°C , 排出压力为 14.5 绝对压力, 转速为 12,466 转/分。该机以低于冰点的进口温度工作时, 为了达到经济的冷循环, 采用中间喷入再次获得低温。

三、空分用透平压缩机

1. 空气透平压缩机

化工过程中所使用的空气压缩机, 其出口压力大致分为下列几类: $10\sim15 \text{ 公斤/厘米}^2$, $25\sim30 \text{ 公斤/厘米}^2$, 50 公斤/厘米^2 。在出口压力增大的同时, 叶轮数也在增加。机械结构不是都集中在一个壳体内, 而是分为 2~3 个壳体。一般是, 出口压力在 $8\sim10 \text{ 公斤/厘米}^2$ 时采用一个壳体, 在 $8\sim30 \text{ 公斤/厘米}^2$ 时采用两个壳体, 在 $25\sim50 \text{ 公斤/厘米}^2$ 时采用三个壳体。为了安装、拆卸、维修及检查的便利, 壳体一般分为上下两部分, 但如果压力高时, 要防止由于壳体上下两部分合并而产生的泄漏是比较困难的, 代之以水平剖分, 即采用筒形结构。在此情况下, 内部隔板分为上下两部分, 首先在转子上复一个内部

隔板, 并用上下合并的螺栓拧紧后沿轴向嵌入壳体。为了获得高压, 转数也相当大, 每分钟从几百转到一万多转, 因而叶轮的圆周速度最高也达 $350\sim400 \text{ 米/秒}$ 。如果圆周速度如此高, 每个叶轮的压缩比为 $2\sim2.5$, 则叶轮的材料也必须使用能耐高应力的镍铬钢等特殊钢。叶轮的圆周速度高, 则透平压缩机内部的流体速度也快。在高速下如何提高流体效率, 这是技术的焦点。现在国外空气污染情况严重, 对叶轮附带会产生腐蚀, 对此亦应引起注意。

另一方面, 为了排除压缩所产生的热量, 空气冷却器也是个重要因素。而要充分排除热量, 需要大量冷却水, 其费用在整个运转费中占有相当大的比率。

空气用透平压缩机一般为单级或多级离心式压缩机。近来发展很快, 重点是降低制造成本, 减小尺寸, 改进平衡, 简化安装工作, 各种性能指标有了很大提高, 有关情况列于下表 12。

用于空分中压缩空气的透平压缩机, 必须采用级间冷却, 以便节省功率。国外有台五级空气透平压缩机, 安上四只级间冷却器, 流量高达 $40 \text{ 标米}^3/\text{秒}$, 这种压缩机通常称为等温透平压缩机。气体在每级出口处受到冷却, 压缩气体的过程接近等温。该机采用了效果较好的入口导叶进行气量调节。在最好的效率下调节时, 气量可降低 18%, 此时排气压力仍然不变。

在特大流量时, 可以采用两台或更多的有级间冷却的轴流压缩机组。这台压缩机在低压部分用可动的静叶进行气量调节。

美国炭黑厂的鼓风机, 已由活塞式改用离心压缩机, 其维护简便, 基础简化, 被鼓入空气中无油。该机系五级压缩机, 流量为 $218 \text{ 米}^3/\text{分}$, 压力为 18.5 大气压, 电动机功率为 2,250 马力^[15]。

美国杰制造公司生产了五级高压离心空气压缩机 5MSG, 压力为 $17.5\sim24.5$ 大气压,

表 12

厂 家	型 号	流 量, 米 ³ /时	功率, 马力	转 速, 转/分	进口压力, 绝对大气压	出口压力, 绝对大气压	原动机	出厂年份
日本三菱		149.4	220	7,500	1.033 公斤/厘米 ²	1.349 公斤/厘米 ²	冷凝透平	1953
美国库佩尔-俾斯麦尔	RC5S	8,000 呎 ³ /分	1,750 英制	10,800	14.25 磅/时 ²	64 磅/时 ²	柴 油 机	1955
日本三菱		55,200	3,400	4,500	1.020	3.320	冷凝透平	1960
美国克拉克	3M9-8	25,000	4,500	6,000	大气压	20	蒸汽轮机	1964
意大利新比隆	6MCP804	50,000	5,680	7,500	0.97	5.9	电 动 机	
日本三菱		75.7	4,500	4,850	1.023	34.8	冷凝透平	1970
美国克拉克	2M8-6	13,200	7,500	9,900	6.3	38	蒸汽轮机	1970
美国库佩尔-俾斯麦尔	RD6-58	21,900 呎 ³ /分			14.2 磅/时 ²	91 磅/时 ²	蒸汽轮机	1971
意大利新比隆	MCL1004	52,300	5,840	5,670	1.02	4.2	蒸汽轮机	
"	2MCL456	55,164	6,920	10,700	7.15	36.6	蒸汽轮机	

流量为 99~439 米³/分。压缩机所有部件布置在厂房地坪上的一个框形结构上, 这样可使压缩机尺寸缩小三分之一, 而安装时间减少一半。获得高压的方法是利用三级空气透平压缩机和两个补充级, 其传动靠主级的空心轴, 这样就大大简化了定心^[16]。克拉克公司生产的 3~4 级空气离心压缩机, 为了获得最佳速度和减少噪音, 安有行星齿轮减速机, 压力为 6.8 大气压^[17]。

日本川崎公司制成了流量为 3 万米³/时、电动机功率为 15,500 瓩的空气压缩机^[18]。

瑞士苏尔寿公司研制成功了新系列空气压缩机 ARJ, 来代替现有的等温压缩机。ARJ 具有轴流和离心两部分。该系列分成四个规格, 流量为 15~45 万米³/时, 压缩比为 6.0~11.5, 等温效率达 75%。该压缩机的一个轴上安有六个轴向工作叶轮和三个离心工作叶轮。空气在轴向叶轮上缩至 2~2.5 大气压, 而在离心式叶轮上压至所要求的压力。压缩机配有有效的中间空气冷却器, 它接在轴向叶轮、第一和第二个离心式叶轮后面。在可调节导向装置帮助下, 可使压缩机在额定生产能力的 70~115% 间稳定工作。新系列可节省电能 20%, 噪音水平不超过

75 分贝^[19, 20, 21]。

美国华尔新顿公司创制了四种新型空气离心压缩机, 流量中等, 为 2,000~3,300 米³/时, 压力为 6~9 大气压。它结构紧凑, 低噪音, 不必经常维护, 不要求有特殊地基。这种压缩机可向中等生产能力的工厂供应无油压缩空气。压缩机的特点, 在于所有三个工作叶轮都布置在两个多楔滑动轴承间的一根轴上。可用 250~385 瓩的电动机或透平驱动该压缩机。它也采用行星齿轮传动装置来传动压缩机轴。为了减少压缩机噪音, 规定装有吸音器, 它同中间冷却器连接。润滑系统是强制的。主油泵由电动机传动, 副油泵由压缩空气推动。压缩机的结构, 保证方便地接近需定期维护的构件, 并易于将其装上^[22]。

美国特列守工业公司研制成功了六级离心压缩机 Isopac, 用于压缩空气、氨、氧化乙烯、氮等, 可压至 35 公斤/厘米²。该压缩机包括两个壳体, 且有总的减速器和电动机。压缩机的构件均以装配件形式送来, 这样可大大缩小装置尺寸, 并能减少现场安装工作量^[23]。

美国埃利奥特公司最近研究了一种多级