

空分装置气体轴承透平膨胀机

西安交通大学 陈纯正

一、概 述

在空气液化、分离装置上应用气体轴承透平膨胀机,国外已有近30年的历史,纵观空分装置的发展,不难看出,目前无论是高、中、低压的或大、小型的空分装置,均有应用气体轴承透平膨胀机的实例。但在小型空分装置中采用气体轴承透平膨胀机,更具有系统简单、紧凑、安全可靠等明显优点。

我国小型空分装置使用气体轴承透平膨胀机起步较晚,1975年开始研究,但是近几年来已取得了较大发展。西安交通大学与江西制氧机厂及吴县制氧机厂分别共同研制150米³/时制氧机配套的三种不同气体轴承结构的中压透平膨胀机,取代原来配套使用的笨重活塞式膨胀机,这为我国空分装置特别是型制氧机推广使用气体轴承透平膨胀机开创了良好的起点。这种新型的气体轴承透平膨胀机自从1979年及82年分别经过鉴定,正式投产以来,迄今为止已生产了500多台,在全国各地得到了推广使用。有些单位已通过4~6年的较长时间的运用,累计运转三、四万小时以上,达到了节约电能、增加氧产量、改善操作维护等良好效果,取得了较明显的经济效益。目前这种气体轴承透平膨胀机除继续在150米³/时制氧机上扩大配套使用外,还正在向其它装置扩大使用(如50米³/时制氧机、油田气分离装置等)。此外,从1980年以来我国在新流程50米³/时制氧机上也相继开发了气体轴承低压透平膨胀

机,为我国小型制氧机领域增添了新的产品(哈尔滨制氧机厂生产)。1982年以来,西安交通大学和吴县制氧机厂共同研制成功多排切向小孔供气及统一供气双气膜的新型轴承,在推广使用的过程中,又进一步经历了航天部某试验装置的考核,并在1984年开始推广应用至300米³/时制氧机上试运转,取得了良好效果。并在一些单位推广应用,这为我国制氧机原有透平膨胀机由油轴承改用气体轴承树立了良好范例。近几年来,我国空分行业在研制新型的气体承中压、高压透平膨胀机方面继续进行了新的开发,并且在开发动压气体轴承方面取得了新进展,这将使我国空分行业气体轴承透平膨胀机提高到一个新的水平。

二、我国空分装置透平膨胀机气体轴承的发展

目前在小型制氧机领域,除少数国外装置采用自作用式气体轴承(动压式气体轴承)外,大多数装置采用的仍是外压式供气的气体轴承(国内习惯上称之为静压气体轴承)。我国在自行设计制造的空分装置气体轴承透平膨胀机中,目前正式生产的基本上还是采用静压式气体轴承,并对此开展过较多研究。

在我国原有150米³/时制氧机改造时,要求原有流程参数及其余设备不变更,仅用新的透平膨胀机替代原活塞式膨胀机,其设计转速为 10.7×10^4 转/分。试验表明,即使在最佳间隙的工况下,为了保证稳定运

转,刚性支承的双排径向小孔供气轴承的供气压力 P_s 也必须保持在 7 kgf/cm^2 以上。显然,这一性能指标是不能令人满意的。同时,这种轴承的失稳转速随轴承间隙变化的特性也比较差。

采用橡胶O形圈的弹性支承气体轴承,在提高气体轴承稳定性方面,是一种很有意义的措施。试验研究及理论分析均表明,所采用的橡皮加稳空气轴承对机器的稳定运转起了良好的作用,它与普通的刚性支承双排径向小孔供气轴承相比,涡动起始速度提高了两倍以上。但橡胶O形圈受到了使用温度、工质及年限的限制,通常橡胶玻璃化温度在 -100°C 以上,因此这种橡皮加稳空气轴承只能用于温度不太低的使用场合。而一般在空分装置的透平膨胀机中,轴承区均近于常温,因而橡皮加稳空气轴承在空分装置的透平膨胀机中,仍然是一种较好的结构型式。

近年来,为了适应更低的使用温度及不同使用工质的需要,我国空分装置透平膨胀机的气体轴承从1980年开始又进一步发展了切向小孔供气轴承。这种轴承,由于较大轴承间隙中产生的周向流动,能达到较大的动量效应,轴承的稳定性得以改善。

我国在研究双排切向小孔供气轴承时,得出了这种轴承的最佳参数规律。在 $150\text{米}^3/\text{时}$ 制氧机的透平膨胀机上,若轴承结构参数不变,仅由径向小孔供气改为切向小孔供气,则最佳径向轴承间隙(亦即在其它同样参数条件下能达到最大失稳转速 n_c 时的间隙)增大75%,相应地,失稳转速可提高30%。因其简易可行,在一些仅要求适当提高运转稳定性的情况下,由双排径向小孔供气轴承改为双排切向小孔供气轴承,是一种行之有效的措施。但在 $150\text{米}^3/\text{时}$ 制氧机透平膨胀机中,为了使轴承稳定性能有更大幅度的提高,1981年我们又继续探索了高稳定性的

新结构,首次提出了多排切向小孔供气轴承的新设想,并在2~10排,每排4~8孔,轴承间隙 $0.05\sim 0.12\text{mm}$,供气压力 $0.5\sim 6\text{ kgf/cm}^2$ 的各种情况下,对不同结构方案的100多付多排切向小孔供气轴承的运转稳定性进行了反复的试验研究。结果证明,这种新结构是提高运转稳定性简易可行、十分有效的方法。与普通的双排径向小孔供气轴承相比,失稳转速提高两倍以上。在此同时,我国在 $150\text{米}^3/\text{时}$ 制氧机中还试验成功了另一种稳定性较好的新结构——统一供气双气膜轴承,它与外层气膜代替了橡皮加稳轴承中的橡胶O形圈。这不仅结构简单,而且不受温度及工质的限制,适用的范围就更广泛。这两种新型气体轴承使用效果都很好,现已得到推广应用。

空分行业在研制气体轴承透平膨胀机的过程中,在改进结构以提高轴承运转稳定性的同时,还在材料选择、减轻参振质量等方面,进行了研究。按轴承稳定性分析,在同样的结构参数条件下,转子重量的大小,将明显影响失稳转速。我国“150”透平膨胀机转子重量降低1%,则失稳转速约可提高0.7%。为提高运转稳定性,曾以不同材料(钢、钛合金、铝合金)的主轴进行过试验。实践表明,铝轴重量最轻,能达到很高的稳定性,但其热膨胀系数大,轴承间隙随温度变化较显著,使用效果较差。钛合金轴由于低温下强度提高,且弹性模数与密度之比值增大,提高了转子固有振动频率,对低温透平膨胀机应为理想材料,但目前由于工艺及成本的限制,未在小型空分装置中推广应用。我国空分装置透平膨胀机目前仍以钢轴(3C_r13)为主。

为了与钢轴相匹配,轴承材料目前以石墨青铜(TSQ-A)为主。根据我们的试验研究,在弹性支承的高速静压气体轴承一转

子系统中,如果轴的重量保持不变而减轻轴承重量,则在提高失稳转速方面,其效果与保持轴承重量不变而减轻轴重量的情况大致相同。因此,曾对塑料轴承(聚四亚胺)、树脂浸石墨轴承、铝体-石墨青铜组合轴承,进行了试验研究。结果表明,这些材料制造气体轴承是适宜的。但由于成本较高、膨胀系数较大等因素的限制,未能实用。在确定这类轴承最佳轴承间隙以获得良好的稳定性方面,还有待进一步试验。在橡皮加稳气体轴承中,橡胶O形圈的材料还决定了橡胶圈的阻尼系数,因而影响到轴承的稳定性,在“150”透平膨胀机上,曾试验过丁腈橡胶、氟橡胶、硅橡胶等O形圈轴承。目前硬度为60I、H、R、D的丁腈橡胶圈仍具有较低的临界供气压力(实测为 1.5kgf/cm^2),能达到满意的性能。

但是应当看到,静压气体轴承需要有一定的压力气源,尽管对空分装置而言,可利用本身的压力气体,并不存在增加附加气源设备的问题(这是静压气体轴承本身的严重缺陷之一)。但它需要消耗少量的压力气体,亦即构成了一定的附加能耗,而且对安全操作会带来一些不便之处。因此,近几年来国内空分行业中积极开展了无需外加压力供气的自作用式(动压式)气体轴承透平膨胀机的研制工作。

在动压径向气体轴承中,国外现在主要型式有人字槽型、可倾瓦型、薄片型(包括张紧型、波箔型、悬挂型)等。后两种类型虽具有很好的稳定性,但其结构及工艺较复杂,而人字槽轴承结构较为简单。

三、空分装置采用气体轴承透平膨胀机的经济效益及展望

在原来采用活塞式膨胀机的小型空分装置中,一旦改用气体轴承透平膨胀机后,因其尺寸小、重量轻、效率较高、结构简单、操作维护简便,优越性比较突出。除节省材

料费、备件费、维修费外,还降低了空分装置的操作压力,明显节约了电耗。按实测,一套 $150\text{米}^3/\text{时}$ 制氧机改用气体轴承透平膨胀机后,每年节电 $13\sim 23$ 万度,这相当于运转一年的节电费即可购置 $2\sim 3$ 台透平膨胀机。

对于现有国产 $300\text{米}^3/\text{时}$ 等空分装置的油轴承透平膨胀机,能否改用气体轴承,改用后能否取得一定的经济效益?根据我们对这类装置透平膨胀机改用气体轴承的综合经济分析,改用气轴承后的经济效益是毋庸置疑的,而且对提高装置的运转安全性有所得益也是显而易见的(国外有的液氧装置为了提高安全性曾专门将透平膨胀机油轴承改为气体轴承)。某厂 $300\text{米}^3/\text{时}$ 制氧机的透平膨胀机,初步估计在一台膨胀机改用气轴承后,每年可节约油费、备件费、维修费在5000元以上。而近年来已有一些单位的 $300\text{米}^3/\text{时}$ 制氧机,经由吴县制氧机厂将透平膨胀机的油轴承改为气体轴承后,取得了满意的效果。如江阴钢厂 $300\text{米}^3/\text{时}$ 制氧机改用气体轴承后,装置操作压力下降。据该厂实测,每天节电600度,因而改用气体轴承后一年的经济效益完全足以补偿透平膨胀机由油轴承改为气体轴承的改造费用。此外,原来使用油轴承时,风机排气的带油使车间邻近的环境污染比较严重,而改用气体轴承以后,明显改善污染而获得的效益是难以用经济指标来衡量的。可以预料,随着环保工作的日益重视,透平膨胀机改用气体轴承作为一种切实可行的有效措施,也应得到推广。

在开发中、高压透平膨胀机时,如何保证止推轴承的正常工作,将成为十分重要的问题。在中、高压透平膨胀机中,轴向力将明显增大,国外有的机器中以高的轴承供气压力(如苏联的 $30\sim 40\text{kgf/cm}^2$)来保证达到较大的气膜刚度。我国咸阳彩色显象管厂引进的日本 $150\text{米}^3/\text{时}$ 制氧机的透平膨胀机,

《制冷》部分编委召开座谈会

籍1987年中国制冷学会秘书长会议在广州召开之机,广东、河南、云南、广西等四省区部分编委及湖南省代表就《制冷》刊物有关问题进行了座谈。参加座谈会的有:广东省制冷学会钱颂文、刘彦华;河南省制冷学会霍廷祥;广西区制冷学会(筹)陈炳旭;云南省制冷学会王楚海等同志。

大家一致肯定,刊物办得有成绩,而且越办越好,刊物质量有很大提高,得到广大读者欢迎。

会议就经费、广告以及译文内容选择等问题交换了意见,一致认为经费是对办好刊物的重要因素,大家对广东省制冷学会的努力与经费上的全力支持表示感谢。会议还认为《制冷》期刊还应加强宣传,不少读者对它的发行还不很清楚。(文华)

【信息·文摘】

◎据广州市机电供销公司的分析,1988年广东省制冷、空调设备将全面旺销。①一批重点工程项目投产、宾馆酒楼的改造与制药厂的防尘等,需用大量空调设备。②城乡各地客货运将在今年普及使用冷藏货车和空调客车。③全省继去年投资4亿多元发展对虾养殖,今年将再投资3亿多元,对虾的冷冻保鲜设备需求量大大增加。目前由于国家限制制冷设备的进口,加上日元升值,进口机组价格已涨至国货的2倍多,国产设备市场将继续繁荣。据分析,广东地区今年仍将以制冷量为3,000~50,000千卡的制冷机组较为热销。

◎《远东经济》报道,目前彩色果蔬在欧美市场十分畅销,品种有黄番茄、褐色辣椒、金菜头、紫马铃薯、红香蕉、金莓、黄樱桃等。其中黄色最受欢迎。果蔬的颜色是人工培植不断改良的天然色彩。目前主要出口是秘鲁、墨西哥、印度等,其价值往往是同种菜蔬的五至七倍。

◎据《粤港信息报》报道,——日本市场上冷冻蔬菜销量甚大,较好的品种有春豆、甜玉米、芦笋、扁豆、土豆、蚕豆、混合菜。但日本国内每年只能供应八万吨左右,尚缺二十万至三十万吨靠进口,如甜玉米,日本每年需进口两万多吨。我国是最早进入日本冷冻蔬菜市场的国家之一,但出口量仅为一万多吨。由于我国地理环境优美,大力发展冷冻蔬菜生产,增加出口创汇的条件十分有利。

径向轴承虽为三可倾瓦动压轴承,而止推轴承为小孔供气静压气体轴承,供气压力也达到 21kgf/cm^2 (该膨胀机进口压力仅 30kgf/cm^2)。单纯依靠提高轴承供气压力来保证止推轴承的正常工作,是不尽适宜的。在设计止推轴承时,需要在提高止推轴承制造精度的同时,尽量利用制动风机来最大限度地补偿作用在膨胀机工作轮上轴向力的办法,并在止推轴承上进一步采取措施提高它的承载能力。

在中、大型的空分装置中,长期来一直使用油轴承的透平膨胀机。但是从现代气体轴承发展的技术水平而言,目前无论是小型空分装置还是大型空分装置,透平膨胀机采用气体轴承不仅技术上是可行的,而且经济上也是有利的。迄今为止,气体轴承应用于重转子、低转速工况的实例屡见不鲜(如法国大型离心机转子3000kg,轴颈300mm,转速3000r/min;苏联某透平转子1200kg,轴颈160mm)。在大型空分装置上也早有应用先例(如日本ELV181型透平膨胀机,气量 $4200\text{Nm}^3/\text{h}$,转子重15.4kg,轴颈70mm,转速28400r/min)。可以看出,在较低速的大型透平机械中,采用气体轴承同样能达到良好的使用效果。如1000、1500米³/时等空分装置,透平膨胀机在结构上无需作大的变动,改用气体轴承也是简便的。

· 简讯 ·

中国制冷学会在穗召开 秘书长工作会议

全国制冷学会秘书长工作会议于11月26日至28日在广州天鹿湖疗养院召开,二十三省、市制冷学会(包括筹委会)50余人参加了会议。中国制冷学会秘书长关德忠、副秘书长王亚平主持了会议。

会议总结了一年来的工作,传达了中国制冷学会常务理事会议精神,交流了各学会工作经验,讨论了吸收团体会员问题,座谈了学会工作改革设想,还探讨了下次秘书长会议议题及会址。(冷华)