

低温容器应用进展及发展前景(一)

毕龙生

(兰州物理研究所,兰州 730000)

(收稿日期 1999-05-31)

PROGRESS AND DEVELOPMENT PROSPECT OF CRYOGENIC VESSELS APPLICATION

Bi Longsheng

(Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000)

Abstract: This paper describes the status quo of cryogenic vessels application in the fields such as space, aviation, machinery, electron, geology and mine, metallurgy, construction, environment protection, traffic, agriculture, hygiene, food, energy, chemistry, science and technology and so on, and looks forward to the future development prospect.

Key words: cryogenics, cryogenic vessels, application

摘要: 综述了低温容器在航天、航空、机械、电子、地质矿产、冶金、建设、环保、交通、农业、卫生、食品、能源、化工、科技等部门的应用现状,展望了未来发展前景。

关键词: 低温 低温容器 应用

中图分类号: T-03 TB657.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7086(1999)03-0125-10

随着国民经济的快速发展和低温技术的普及,液氮、液氧、液氩、液氢、液氦、液化天然气等低温液体的应用日趋广泛,各行各业对贮存和输送低温液体的低温容器的需求不断增长。尤其是近几年,随着改革开放的深入,国外主要跨国气体公司竞相在我国建立合资企业,带来了先进的空分设备、技术和管理,使我国低温液体的产量大幅度提高,供应的地区和范围不断扩大,价格大幅度降低(如液氮和液氧价格从2 ¥/kg左右,降低到1 ¥/kg左右),促进了低温液体的应用,带动了我国低温容器的发展,使低温容器成为1个新兴的行业。为了展望今后的发展,现将低温液体和低温容器在国民经济各部门的应用概况作一介绍。

1 航天方面的应用^[1~2]

1.1 氢氧火箭发动机 世界上最早的V-2火箭使用液氧和酒精做推进剂。由于液氢和液氧是当今实用的比推力最大的一组液体火箭推进剂,自1959年美国液氢液氧火箭发动机全机组试验成功后,已广泛应用在大型火箭和航天飞机的发射中,如美国“挑战者”号航天飞机和“阿波罗”计划的土星V火箭,欧洲空间局的“阿里安”系列火箭,日本的H-1、H-2火箭,前苏联“能量号”火箭及我国的长征三号系列火箭都采用了氢氧发动机,装有液氢、液氧贮箱。其中土星V运载火箭二级和三级液氢贮箱的加注容量分别为1000 m³和280 m³。航天飞机的液

氢和液氧总加注量分别为 $1\,432\text{ m}^3$ 和 529 m^3 。

1.2 发射场的燃料加注系统 航天器发射前为进行贮箱的置换、预冷和加注,在发射场建立了包括大型液氢和液氧贮槽、铁路槽车、公路槽车的地面支持系统。如美国肯尼迪空间中心有 $3\,200\text{ m}^3$ 的液氢贮槽 2 个,前苏联在发射场已配有 $1\,000\text{ m}^3$ 液氢贮槽 4 个。据统计 1993~1997 年间美国宇航局每年液氢用量 $7\,800\text{ t}\sim 9\,200\text{ t}$,为运输液氢配有 4 m^3 拖车和 10 m^3 有轨车及 108 m^3 铁路槽车。我国为发射火箭配置了相应的液氢铁路槽车和液氢、液氧公路槽车。

1.3 发射场液氮加注系统 为降低加注到火箭贮箱中的液氢、液氧温度,保证涡轮泵正常工作和使贮箱增压的氦气预冷到 80 K 左右,发射场配有液氮槽车和贮槽的液氮加注系统。

1.4 火箭发动机点火试车台 为进行发动机点火的性能测试和多次启动及两相流试验,该试车台配有大型的液氢、液氧、液氮贮槽和槽车。日本 H-1 火箭发动机试车台包括容量 45 m^3 液氢和液氧贮槽,H-2 火箭发动机试车台配有 2 台 540 m^3 液氢贮槽。

1.5 火箭发动机高空试车台 它配有液氮冷却的内套和液氢低温泵或液氮低温泵。

1.6 火箭液氮增压系统 运载火箭飞行中液氧贮箱需用氦气增压,为减轻增压系统重量,将增压氦气贮存于液氮容器中。如欧空局“阿里安 V”主级增压系统的液氮容器容量为 1.15 m^3 ,充填 143 kg 液氮。

1.7 载人飞船生命保障系统 美国早期飞船如双子座,为维持 2 名航天员呼吸用氧和控制舱内压力、流量、温度及宇航服冷却、纯化大气等,配有一套超临界贮存液氧的低温容器,该容器可装 47 kg 液氧,空重 19 kg 。

1.8 载人飞船的能源系统 氢氧化学燃料电池是载人航天器上理想的大功率能源。这是由于电池无运动部件,其副产品为水,处理后可作为航天员用水。双子座飞船能源系统配有一套装 80 kg 液氧,空重 27 kg 的液氧容器和装 10 kg 液氢,空重 23 kg 的液氢容器。

1.9 阿波罗飞船的生保和能源系统 为维持 3 名航天员的 14 d 飞行的需要,该系统配有 2 只装有 147 kg 液氧,空重 41 kg 的液氧容器和 2 只装 13 kg 液氢,空重 36 kg 的液氢容器。

1.10 航天飞机生保和能源控制系统 配有 2~4 套可装 354 kg 液氧,空重为 93 kg 的液氧容器和装 42 kg 液氢、空重 98 kg 的液氢容器。

1.11 空间站低温液体贮罐设备 空间站为贮存和供应环境控制系统所需的 O_2 和 N_2 ,装有能贮存 708 kg 液氧和 494 kg 液氮的低温容器各二套,每隔 180 d 轮换返回地面,再供应循环。

1.12 核动力火箭 氢是它的最好工质推进剂,为了冷却核反应的壁及喷嘴,并考虑到贮存等问题,它只能使用液态氢。

1.13 太阳能火箭 太阳能可作为在外层空间飞行的火箭动力,有无比的优越性,其最好的工质流体仍然是液氢。

1.14 宇宙背景探测器 装有 1 个 600 L 超流氦贮存的液氦容器,工作温度 2 K 左右,寿命 14 个月。

1.15 地球观察系统极轨道平台 配置的远红外辐射大气频谱仪冷光学探测器组件采用超流氦贮存的液氦容器,冷却至 $3\text{ K}\sim 4\text{ K}$ 。

1.16 红外空间观测卫星 用 100 L 超流氦低温容器冷却空间红外望远镜的探测器。

1.17 红外天文卫星 国外 1983 年 1 月发射的这颗卫星装有一个高 3.6 m , $\phi 2\text{ m}$ 、能盛装 70 kg 超流氦的低温容器,使其冷却价值 2 亿美元的天文红外望远镜,以保证镜面温度不高于 16

K。12月21日当卫星上的液氮用尽后,望远镜停止工作。

1.18 红外空间实验室 1993年欧空局发射的红外空间实验室,液氮容器贮存的超流氦达 2.25 m^3 。美国发射的空间红外装置中,超流氦的贮量高达 4 m^3 。

1.19 空间环境模拟设备 为保证卫星和飞船在外层空间的低温(3 K)、超高真空($10^{-10}\text{ Pa}\sim 10^{-14}\text{ Pa}$)环境中能长时间运行,必须在地面进行充分的环境试验。为此,国内外都建立了直径几米、十几米、甚至几十米的空间环境模拟设备。这些设备大部分是用液氮、液氢、液氦来获得超高真空和模拟深冷空间条件,并配有各种大型低温贮槽。例如原苏联1963年建立的直径6 m、高15 m的BK600/300空间环境设备上就配置了2台 100 m^3 液氮贮槽。

2 航空方面的应用

2.1 飞行员供氧 飞行员在高空飞行中呼吸的氧气是由5 L~10 L的液氧汽化容器提供的。在飞机场配有提供液氧的拖车和贮槽。豫新机械厂生产航空呼吸用液氧容器,杭州制氧机厂生产飞机充液氧拖车。

2.2 飞机轮胎充气 用氮气代替压缩空气给飞机轮胎充气能减少轮胎的氧化和轮子的腐蚀,延长轮胎使用寿命,而且氮气在轮胎橡胶中扩散的速度比空气低30%~40%,使压力保持时间延长,减少了轮胎的磨损,从而提高了轮胎的性能和安全性,降低成本费用,还减少对环境污染。因此一些机场已使用液氮汽化容器取代高压钢瓶给飞机轮胎充气。充氮轮胎还适用于赛车、挖土机、运土机等大型工程车辆。

2.3 液氮级低温风洞^[3] 为进行飞机模拟试验,1972年美国NASA-Langley研究中心第一次建立了液氮级超音速低温风洞,使用液氮汽化后的冷氮气流,实现雷诺数全范围的试验。从1984年以来世界上各先进国家都加速发展这一技术,相继建立了液氮级风洞。如美国国家超音速实验室建立的跨音速风洞以 373 kg/s 的液氮流率汽化成 9.1 kg/cm^2 的冷氮气流,可产生的雷诺数超过 1.2×10^8 。我国低温风洞也配有大型液氮贮槽。

2.4 飞机燃料 国外已制造出用液氢作燃料的飞机。美国计划选择把旧金山国际机场改造为现代化的新机场,由400人乘坐的亚音速客机,每天在美国九个机场起落59次,在国外4个机场每日11次,每架飞机每天用液氢 387 m^3 。为供应液氢必须在地面建立5个 3780 m^3 的液氢贮槽。据计算,液氢飞机与现代飞机相比,其总质量将减轻34%,燃料质量减少2/3,发动机推力将增加11%,具有高超音速($\text{Ma}\geq 5$)的巡航速度、噪音小、无污染、滑跑距离短等优点。德国《世界报》报道,到本世纪末一架经过改造的欧洲A-310空中客车将使用氢。

2.5 飞机场消雾^[4] 北京每年平均有20 d左右的大雾天气,大雾严重时,每天将有1万多中外旅客滞留首都机场,造成400万元以上的经济损失。为解决这一问题,北京市于1994年2月18日在沙河机场跑道上进行人工消雾试验获得成功。试验在3 km长的路段上,用 5 m^3 液氮槽车播洒液氮3次,共890 kg。1996年12月15日首都机场因大雾航班停运,采用液氮消雾作业仅1个多小时,耗用液氮12 t,便消雾成功,使航班恢复运行。上海航空公司1996年大雾延误航班损失就达2 000万元。因此,液氮消雾在机场和高速公路中有广泛地应用前景。

2.6 食品冷冻 美国西部航空公司飞机上的厨房配用液氮容器来冷冻食品,一条飞机航线每年消耗液氮810 t。

3 机械工业方面的应用^[5~6]

3.1 深冷处理 深冷处理是将淬火后的金属零件用液氮将冷却过程持续到 0°C 以下。其优点是:能够提高钢的硬度;使耐磨性提高 3 倍;零件寿命延长 1~3 倍;还能稳定零件形状和尺寸;操作方便,是一种有效的新工艺。目前已广泛应用于大型轧钢机滚筒、精密仪表的零件、齿轮、刀具、量具、油泵喷嘴、弹簧、飞机发动机涡轮轴、石油地质钻头、汽油机的缸桶和活塞环、精密轴承及低温阀门等的处理。美国自 1963 年将深冷处理工艺用于生产后,短短几年处理的零件就从每年 2.5 万件增加到每年 30 万件。在前苏联,刀具采用深冷处理后,寿命提高 50%~300%。近几年,我国的西安、广西、常州、北京、沈阳等地的工厂采用液氮生物容器进行液氮深冷处理已取得显著效果。1984 年首都机械厂还研制出专用深冷处理液氮罐。1996 年中科院低温中心研制出 $400\text{ mm}\times 3\ 200\text{ mm}$ 大型工件的深冷处理装置。

3.2 深冷装配 机械零件的过盈配合通常采用热装工艺和压入工艺。目前开始被液氮冷缩的新工艺所取代。新工艺具有装配精度高,无配合面的擦伤,无因加热产生的氧化皮、变形和结构变化,生产率高,操作简单等优点。已应用在车轮、轴承套、缸套、阀体、泵类等装配中,深冷装配一般是在深冷处理液氮罐或大口径液氮容器中进行。如兰州轴承厂、兰州电机厂等许多单位都已采用。

3.3 气割和焊接的气源 目前已开始用液氧、液氮汽化容器来代替高压钢瓶盛装氧气和氮气。其优点是:缩小了气源的体积和质量,提高了运输效率,降低了设备费和运输费用,贮存压力低,使用安全方便;输出的气体压力稳定,可供多人同时操作。尤其是造船工业和沿海拆船业等气割和焊接气源消耗大的部门特别需要。

3.4 低温车削 车床车削机械零件时,用液氮冷却可使切削温度从 $1\ 000^{\circ}\text{C}$ 左右降低到 $600^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 。在提高切削速度和进刀量时,零件表面的扯裂速度极其微小。美国还研究出用液氮冷却的低温钻石切削方法,可在不锈钢零件上形成光学质量表面,还可用来加工紧凑式圆盘读出器,条形码扫描器及其它一些装置上的光学元件,工件和刀具均用液氮冷却到 150 K 以下,钻石刀具无磨损,液氮耗量约 $0.2\text{ L}/\text{min}$,无液氮时切削量不到 1%~2%时就损坏了。

3.5 低温磨削 用磨床研磨零件时,使用液氮冷却可大大降低研磨温度和磨削力,研磨表面不仅光滑,而且没有微小裂纹。材料越硬、强度越高、加工越难时,采用低温研磨效益越高。

3.6 液氮冷模挤压 挤压加工时(铝材挤压成形),如果速度太快易产生裂缝。用液氮作为冷却剂吸收挤压时的形变热和摩擦热,可将挤压速度提高 50%~150%,散发的氮气还能保护材料不被氧化。这种液氮冷模挤压工艺不仅能提高生产率和挤压表面质量,还能延长挤压模的寿命。

3.7 非金属材料冷冻加工 许多非金属弹性材料(如橡胶),加工非常困难,采用液氮冷冻使其变硬后,可方便加工成所需尺寸和形状。

3.8 压(铸)模件毛边的低温清理 采用模具成型的橡胶、塑料及锌、铝等产品,在压(铸)成型过程中不可避免地存在着毛刺等多余部分。日本采用液氮冷冻与喷丸机相结合的方法推出多种型号的低温喷丸清理机(其滚筒容量可达 300 L),可方便、有效地去除形状复杂、精度要求高的产品飞边和毛刺,机械化与自动化程度和劳动生产率高,其成本降低 $1/3$ 以上。

3.9 低温除锈 香港氧气公司推出代替传统喷砂除锈的低温除锈工艺。该工艺利用液氮汽

化所产生的高速气流,通过专用设备夹带干冰颗粒,从喷枪内高速喷出,直接打到工件上除锈。其优点不会污染环境,不会产生火花,除锈效果良好。缺点是投资成本较喷砂为高。

3.10 冷冻修理 用液氮冻结设备的某段管道,使它与其它部分隔开,在整个系统不停止运转和流体不全部排出的情况下进行维修保养或更换工作。这种管道冷冻修理法已应用于自来水管,大型空调设备,电力系统的高压同轴电缆等维修中,使维修工作简化,周期缩短,减少停水、停机、停电造成的损失。我国刘家峡水电站从1980年开始采用该方法维修高压同轴电缆已取得大的经济效益。

4 电子工业中的应用^[7~9]

4.1 半导体和集成电路生产 高纯度的氧、氮、氩等气体是半导体、电子器件、集成电路生产工艺中必不可少的原料气。其纯度直接影响产品质量和成品率,因此被普遍采用,其需求量越来越大。如硅、锗晶体生长时用高纯氮作保护气体,砷化镓和硅外延时及大规模、超大规模集成电路制造过程中氢纯度要求为 $5.5 \text{ n} \sim 6.5 \text{ n}$ 。

4.2 电真空器件的制造 电子管、氢闸管、离子管、激光管和显像管等电真空器件制造中需要高纯氢、氮、氧等气体。

4.3 高纯气体的低温液体贮运 高纯气体在应用中,国外90%以上是用高纯度液体状态贮存和运输的,使用时直接汽化供应。与高压气瓶供气相比较其优点是:气体质量好、无外界污染,纯度得到保证;贮存量大,运输效率高;供气压力稳定,劳动效率高;辅助时间少、成本低。为此需要能贮运这些高纯液态气体的低温容器。1986年杭氧所试制成功 10 m^3 高纯液氮贮槽和公路槽车。乐山无线电厂在晶体管、二级管和桥堆生产中采用2套 2 m^3 高纯液氮贮槽的供应系统代替高纯氮气瓶后提高了产品质量,降低了成本,每年耗用160 t高纯液氮。美国一个电子工业厂每天用液氮400 t。据报道,为制造下一代新的硅晶片,对气体纯度要求越来越高,空气产品PLC公司推出99.9998%的超高纯氮、氧、氩和氢气体,都以超高纯液体状态贮运。

4.4 光导纤维制造 光导纤维和光导纤维电缆制造中氢和氮气的需用量越来越大。

4.5 红外探测器 它经低温冷却后(77 K至4.2 K)与在常温下工作的相比,其响应时间缩短、灵敏度提高,响应波长展宽、受限背景噪声减少。目前有的采用配有液氮容器(或液氦容器)的开放式低温制冷方法。

4.6 量子放大器 其多数必须工作在4.2 K,甚至更低的温度。具有任何微波放大器都不可比拟的低噪声和高稳定性。一般使用带液氮容器的开放式制冷系统。目前已应用于射电望远镜,此外在远程微波雷达、远距离通讯的应用中有巨大潜力。

4.7 参量放大器 又称可变电抗放大器。将它冷却到低温(77 K、20 K、4.2 K),可减少噪声,提高灵敏度和可靠性。通常在77 K和4.2 K工作的放大器是直接浸泡在盛有液氮和液氦的低温容器内。它主要应用在卫星通讯地面站,射电天文和远程雷达等高灵敏度接收系统中。

4.8 激光器 亦称光量子放大器。它在冷却到低温(77 K或更低)后,可减少其激励功率。有些半导体激光器必须在低温下才能工作。主要应用于军事,如激光雷达、激光通讯、激光反导系统。

4.9 电真空器件的抽气 大多数采用高真空油扩散泵抽气系统。但为减少扩散泵返油对器

件的污染问题和提高真空度,有些使用液氮冷阱,或液氮冷却的障板。

4.10 真空镀膜装置 利用电阻加热、电子轰击、阴极溅射、离子轰击的各种工业用镀膜设备,为避免油扩散泵抽气系统的返油,近年来有的已采用贮槽式低温泵或致冷机低温泵抽气系统。前者需配用低温容器来贮运低温液体。

4.11 射束装置 利用电子束、离子束或激光束对薄膜进行切割、腐蚀等加工的射束装置,要求没有碳氢物的高真空,有的采用以液氮冷却的分子筛吸附泵为前级的溅射离子泵抽气系统,也有采用贮槽式低温泵系统。

4.12 低温干蚀刻法 这是日本开发出的一项新技术。它使用液氮冷却硅片,在低温下用六氟化硫为气体垂直刻蚀制作出 $0.3\ \mu\text{m}$ 电路宽度,可用于制做 $64\ \text{M}$ 以上动态随机存取存储器的新一代器件。

5 地质矿产部门的应用

5.1 矿山开采 在地下水危害较大的深井开采中,特别是多孔含水砂岩矿井的开采中,为防止地下水涌入,国外已采用液氮冻结法。这种方法能有效处理井下突然涌水事故,在帷幕开窗或沉井封底等特殊施工中,能发挥巨大威力。1979年我国在山东矿区利用液氮槽车进行液氮冻结法开采试验取得成功。

5.2 探矿 研究岩石样品的古地磁可以表征岩石的形成年代。由于古地磁十分微弱 ($5.7 \times 10^{-3}\ \text{T}$),应用超导体古地磁仪比利用常规旋转式磁力仪或无定向磁力仪的精度和效率都大大提高。目前这种超导体古地磁仪的探测线圈和超导量子干涉器件必须浸在液氮中冷却。需要无磁的非金属液氮杜瓦。上海交大已研制出 $25\ \text{L}$ 的无磁玻璃钢液氮杜瓦。

5.3 选矿 常规磁选机的最大磁场强度通常不超过 $20\ \text{T}$,而且选别空间小,耗电量大,处理能力及选别粒度有限。应用超导磁分离装置选矿可克服常规磁选机的缺点,为贫矿、共生矿的选别利用提供了有效方法,有利于降低尾矿品位,提高回收率。1979年北京大学对齐大山赤铁矿进行的超导磁选矿探索试验已取得成功。目前捷克斯洛伐克应用的超导磁选矿机配有 $500\ \text{L}$ 液氮容器 2 个和 $10\ \text{m}^3$ 液氮容器 1 个。

5.4 矿井灭火 利用 $1\ \text{L}$ 液氮可气化 $643\ \text{L}$ 氮气来取代空气中的氧气,以及液氮的低温和气化时的冷却效果,在矿井着火和煤矿因瓦斯爆炸后坑道内温度很高时,国外采用液氮槽车喷淋液氮的方法降温、灭火,比通常水冷方法更有效。

6 冶金工业的应用^[10]

6.1 冶炼用气 在黑色与有色金属的熔炼方面,目前都配置有大型空分设备,供应大量的氮、氧、氩气体用于富氧送风、喷嘴送料、脱硫去气,以及用作保护性气体和冷却剂,所有这些空分设备都配有几十至几千立方米的大型液氮、液氧、液氩贮槽。进入 90 年代以来,我国各钢铁企业为获得稳定高产、质优、价廉的可靠气体供应,纷纷与国外主要工业气体公司合作,引进先进的空分设备,带动了我国低温容器行业的发展。例如:

1) 抚顺钢铁公司 1993 年 12 月与英国 BOC 公司合资在抚顺市氧气厂成立抚顺比欧西工

业气体有限公司,拥有 6 000 m³/h 和 3 200 m³/h 制氧机组各 1 套;

2) 沈阳轧钢总厂 1994 年 12 月与日本氧气公司成立独资的沈阳日酸气体有限公司,建有 2 套 1 200 m³/h 制氧设备;

3) 广州钢铁厂于 1994 年 9 月与香港氧气有限公司合资成立广州奥港气体工业有限公司。该公司拥有 2 套 6 000 m³/h 和 2 套 15 000 m³/h 空分设备及 1 套 35 t/d 氮液化设备,共配置 120 t 贮量的低温贮槽和槽车;

4) 太原钢铁公司与英国 BOC 公司于 1996 年 2 月合资成立太钢比欧西气体有限公司,总投资 5 亿元,由 BOC 公司提供 703 t/d 空分设备;

5) 上海宝山钢铁公司与美国普莱克斯公司合资建立的上海宝钢普莱克斯实用气体有限公司拥有的低温贮槽容量:液氧 2 000 t、液氮 2 000 t、液氩 600 t,4 m³~11 m³ 各种低温槽车 20 辆。其低温液体来源于上海宝钢公司氧气厂的 2 套 26 000 m³/h 和 2 套 30 000 m³/h 空分设备,每天可生产 300 t 液氧、液氮产品;

6) 上海三钢一梅赛尔气体有限公司于 1997 年 3 月成立,拥有空分设备 5 套,其中 6 000 m³/h 4 套、10 000 m³/h 1 套,配有 11 m³ 低温槽车 3 台,4 m³ 低温槽车 3 台及 1 批固定式低温贮槽。德国梅赛尔公司还与成都钢铁公司合资成立了成都成钢梅赛尔气体产品有限公司;

7) 南京钢厂 1998 年 2 月与英国 BOC 公司签订了合资建设 10 000 m³/h 空分设备合同;

8) 上海宝钢 5 号制氧机组(72 000 m³/h)由美国空气化工产品有限公司设计制造,是亚洲第一、世界第二大空分设备,1998 年 3 月 4 日投产,每天可提供 212 t 液态产品,其中液氩 12 t、液氧和液氮 200 t。配有 10 m³ 低温槽车 5 辆、20 m³ 低温槽车 2 辆及 1 批低温贮罐。

6.2 彩色钢板生产 广州市第三轧钢厂从美国引进的 1 条彩色涂层钢板生产线,每小时需消耗液氮 260 kg。液氮主要用于涂料溶液的回收处理和气封保护。

6.3 真空冶金^[8] 国外 1979 年研制出 1 种用于热处理和无坩埚区域熔炼高熔点金属 Nb、Mo 和 Zr 的装置。该装置配有 10 kW 的电子枪,并用低温冷凝泵和液氮冷却的分子筛吸附泵组成的全低温抽气系统抽真空。

6.4 铸模生产 将型砂与水混合,在低温液体(液氮)作用下将模子盆腔冻结成形,铸造后模子因融化而自行脱模。该方法因型砂能多次使用,可节约费用。

6.5 铸造 压铸工艺中,在浇铸前将少量液氮注入铸型,使铸型表面冷却,蒸发的氮气置换出空气,从而提高了铸件质量。另外在浇铸时用液氮喷吹铸流可保护铸流不受空气氧化。

6.6 回收废旧金属 报废汽车和废旧设备(电机、变压器、螺旋管开关、电线、电缆等)的回收拆卸是相当困难的。利用不同物质的脆化温度不同,采用液氮聚冷变脆使其粉碎,再通过磁力或重力等分离装置进行分离的低温破碎回收废金属的方法具有简单、迅速、效率高、节约能源,所需功率只需要消耗室温下的十分之一,增加资源的再利用率及成本低等优点。

6.7 钨和钼生产 电真空材料和器件中的钨和钼生产过程中,用氢还原氧化物得到粉末,再加工制成线材和带材,氢气纯度越高,还原温度就越低,所得钨、钼的粒度就越细。

6.8 钛和锆生产 氮气是钛和锆生产中的保护气体。

7 建设与环境保护方面的应用

7.1 隧道冷冻施工 在开挖山洞、隧道和修建地铁的过程中(如法国巴黎地铁),为避免流

沙,地下水和塌方事故的发生已采用液氮冷冻的施工方法取得成功。

7.2 铁路干线下铺设管线 澳大利亚西部水利管理局使用液氮冷冻土壤的方法,在不阻断火车繁忙运行的铁路干线下成功地埋设了1根直径600 mm的污水管道。该方法比通常冷盐水循环法效果更好,具有施工简单,成本较低,液氮冻结设备安装时间短,土壤冻结速度快,冻土强度高,施工期短等优点。

7.3 混凝土冷却 水坝、桥梁、码头等大型建筑物在施工中,因混凝土固化产生的热量,使温度升高到93℃,在大量浇注时,这种内部与外部存在的温差会导致混凝土裂开,使用寿命缩短。国外开发的液氮冷冻混凝土技术是用液氮槽车将液氮喷入搅拌中的混凝土中,液氮吸热后迅速汽化成气体从混凝土中溢出,使混凝土冷却,其温度不超过24℃,获得高强度的混凝土,从而提高了建筑物的安全可靠性和使用寿命。香港在1994~1995年建设新机场连接马湾与北大屿山的汲水门大桥时,支持这座1.4 km长(世界最长的吊桥之一)吊桥重量的二根混凝土支柱在施工中采用液氮冷冻混凝土技术,一天消耗液氮最多时达50 t。

7.4 污水氧气处理 城镇污水采用氧气处理,可提高速度3~5倍。美国在70年代就建立了50多个采用氧气处理的污水处理工厂。此外在自来水的净化中也采用氧气处理来提高水的净化速度和水质。所需氧气有时用液氧槽车供给。今后随世界各国对环境的重视,污水处理的氧量将会大幅度增长。

7.5 废气处理 工厂烟囱和设备排出的废气采用液氮冷凝的方法,可达到减少污染、清洁空气的目的。我国在火箭推进剂燃放的有害气体偏二甲肼及NO₂的处理方面采用液氮冷冻法也已成功。

7.6 死湖再生 国外对无生物和鱼类的死湖采用强制通入氧气的办法已使死湖再生。

7.7 超导磁分离消除污染 国外已采用超导磁分离对含铁河水,对化工、炼钢和造纸等工业废水和生活废水进行净化处理。由于它可以脱除火电厂燃煤中大部分无机硫和灰粉,还是减少酸雨和粉尘的有力手段。这种新技术美国已进行了试验,我国也正进行研究。从“七五”规划开始就列入国家重点科技攻关项目。

7.8 污物清理 在清理地下设施、隧道中的污物时,在难于工作的地方采用液氮冷冻施工法快速可靠。香港观塘港城在开挖污水站深30 m地下混凝土井时,通过30多米长钢管不停地把液氮灌进护土门附近的泥土中,形成一堵厚1.5 m以上,温度为-30℃的冰拱,防止泥浆涌入井内,使整个庞大的排污计划得以顺利进行,在3 d内共灌注液氮120 t。

7.9 玻璃生产 在玻璃熔炼炉中加入氧气,不仅能提高平板玻璃产量,还能降低成本费用,减少对空气的污染。采用浮法玻璃工艺生产平板玻璃时,液态玻璃流到熔锡的锡床之上,必须采用氮气和氢气作为保护气体。

7.10 废旧家用电器处理 日本日立制作公司开发了一种利用液氮破碎体积较大废物的技术,如废旧冰箱及其它家用电器,使其在低温下脆化后再破碎分离成废塑料等其组成物资,并在日立市建一个处理量为1 t/h的工厂。废旧家用电器在液氮下破碎需能量为6 Wh/kg,而在常温下破碎则所需24 Wh/kg。

8 交通运输部门的应用

8.1 超导磁悬浮列车^[1] 超导磁悬浮概念是1966年提出的,随后日本、美国、加拿大、德

国、英国等国家相继开展实验研究。日本国营铁路公司 1987 年 3 月研制的可乘坐 44 人的超导磁悬浮列车已完成正式行走实验,时速达 400 km。该车的超导磁体与氦制冷机和液氮容器相连。试运行中,有 9 500 人乘坐。1991 年开始在日本东京和大阪间修造 3 km 的第一段高速超导磁悬浮铁路,最高时速达 600 km,1997 年完成。1994 年 10 月我国第一条常规磁浮车实验线在西南交通大学正式建成并试运行成功,对我国超导磁浮车研究起到推动作用。西南交通大学 80 年代初期开始超导研究,已着重考虑超导磁浮车技术研究。

8.2 船舶燃料 美国已研制出使用液氢燃料的 8 t 登陆艇,并称只有液氢是海上应用最有希望的人造燃料。

8.3 超导船 日本住友重机械公司曾宣布,它将在 1992 年完成超导船的设计。该船的关键部分是使用液氮温度的超导马达,其时速可达 92.6 km。

8.4 氢燃料汽车 氢燃烧不像汽油那样产生二氧化碳,不会造成环境污染。美国、日本、西德、意大利等国研制的以液氢为燃料的汽车,装有 1 个铝制的有真空夹套的 120 L~300 L 容量的液氢容器。1996 年德国宝马汽车厂已有六辆装 120 L 液氢容器的燃氢汽车在运行。

8.5 液氮驱动汽车 美国已经在改装的小货车里用液氮发动引擎实验成功,并在只能用 180 L 液氮的情况下行驶 16 km。美国最近研制的液氮驱动的汽车,配有 1 个 320 L 的液氮容器,一次能行驶 480 km。与电动汽车相比,用液氮驱动汽车更便宜,更有利于改善大气环境,是未来的绿色交通工具。

8.6 液氮冷藏集装箱^[12] 集装箱运输是当今一种先进的运输方式。液氮冷藏集装箱与机械冷藏集装箱和冷板冷藏集装箱相比具有降温速度快、适应温度范围广、集中了冷藏运输与气调运输的优点、易腐货物保鲜质量高、箱结构简单、运行可靠、自动化程度高等优点。更适用于易腐食品的运输。我国幅员辽阔,气候差别大,各地物产不同,每年易腐货物运量要求大,实际运量远远满足不了需要,发展液氮冷藏集装箱有非常广阔的前景。法国生产的冷藏集装箱配有 1 只 450 L 的液氮容器。我国在 1985 年由哈尔滨铁路局研制成功 5 t 液氮冷藏集装箱,配有 175 L 自增压式液氮容器。1993 年北京雪龙制冷科技发展总公司研制的容量 20 m³ 液氮冷藏集装箱配有 600 L~800 L 自增压式液氮容器。

8.7 潜艇供氧 我国新研制的潜艇采取液氧容器供氧,即安全,又减轻了贮氧容器的重量。

8.8 沉船打捞 英国索尔低温公司发明了使用液氮打捞海底沉船的技术,并申请了专利,设立了沉船打捞公司液氮技术部。该技术解决了常规打捞作业(高压气体充压法)浮船时间长,沉船有漏孔无法打捞等问题。泰坦尼号沉役打捞方案中采用液氮打捞方案。

8.9 液化天然气汽车^[13] 天然气取代汽油作汽车燃料的优点是价格便宜、污染少、燃烧好、发动机寿命长、抗爆炸性和安全性好。目前世界上已有 100 多万辆以天然气为燃料的汽车在运行。为解决压缩天然气贮气量少、高压不安全的问题,日本、新西兰等国正在试验液化天然气汽车,法国液化天然气汽车已完成中试,美国在 1995 年就建有 25 个液化天然气汽车加注站。我国 1994 年由四川锦阳市、中科院低温中心和清华大学共同研制出液化天然气汽车,深圳中原液化天然气有限公司也正在开发液化天然气汽车,准备在北京装车运行。

8.10 液氮洗涤 1982 年英国发明了一种液氮自动洗涤法,用液氮急冷来洗涤公路、机场跑道、工厂场地、及轮船甲板,其费用仅为以往机械清洗的一半。

(待续)

参 考 文 献

- [1] 达道安主编·空间低温技术·北京:宇航出版社,1991
- [2] 李式模,黄忠平·空间低温技术的进展·真空与低温,1995,(4):231
- [3] 潘春晖·低温风洞的回顾与发展·环模技术,1996,(1):19
- [4] 秦长学·大雾危害和液氮消雾·深冷技术,1998,(3):50
- [5] 徐烈,方荣生,马庆芳等·低温容器——设计、制造与使用·北京:机械工业出版社,1987
- [6] 顾福民·香港回归话“港氧”·深冷技术,1997(3):46
- [7] 黑费文·R A·低温真空技术——基础和应用·北京:电子工业出版社,1985
- [8] 舒泉声·低温技术与应用·北京:科学出版社,1983
- [9] 梁国仑·我国特种气体产业的发展·低温与特气,1998,(4):1
- [10] 孙酣经·氢的应用、提纯及液氢输送技术·低温与特气,1998,(1):28
- [11] 王素玉·超导磁浮列车的研究与发展·低温与超导,1995,(4):1
- [12] 刘东岭·我国冷藏集装箱的箱型、制冷方式和管理模式·制冷学报,1994,(1):47
- [13] 潘金文,万莉,李式模·低温燃料展望·低温工程,1997,(1):2

作者简介:毕龙生,男,1944年11月生。兰州物理研究所高级工程师,国家低温容器质量监督检验中心常务副主任。主要从事真空与低温技术研究工作。发表论文40余篇。