

单级 50~80 K 混合工质 J-T 节流制冷机的热力学分析及实验研究

罗二仓 周 远

(中国科学院低温技术实验中心, 北京 100080)

周赞熙 张文全

(航天工业总公司二院 8358 研究所, 天津 230036)

(收稿日期 1996-08-30)

THERMODYNAMIC ANALYSIS AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SINGLE STAGE J-T COOLER WORKING AT 50~80 K

Luo Ercang Zhou Yuan

(Cryogenic Laboratory, Academia Sinica, Beijing 100080)

Zhou Zanxi Zhang Wenquan

(The 8358 Institute of Chinese Aerospace Corp., Tianjin 230036)

Abstract: This paper gives a simple thermodynamic analysis of single stage J-T capable of working at 50~80 K. Experiment of a single stage J-T cooler working at 50~80 K has been done.

Keywords: Single staged J-T, Mixed refrigerant.

摘 要: 对工作在 50~80 K 的混合物工质 J-T 节流制冷机作了初步的热力学分析。采用混合物工质在一种开式 J-T 节流制冷机上作了实验研究。

关键词: J-T 节流制冷机、混合物工质。

J-T 快速节流制冷器在导弹制导方面有重要的应用。采用纯氮工质的开式快速 J-T 节流制冷机通常需要较高的压力(20~40 MPa), 采用这样高的工作压力是为了保证纯氮 J-T 节流制冷器的较短的启动时间、较小的尺寸质量和足够的制冷功率等要求。采用混合物工质在液氮温区的研究在前苏联进行得较早。最近几年, 在其它国家如美国及欧洲一些国家得到了一些新的研究。我国几乎还没有开展起来。本文作者之一曾于 1995 年到乌克兰低温技术物理所进行该项工作的合作研究, 并对实验的结果作了报道^[1]。除了该文的报道外, 尚未见国内有其它实验性工作进展的报道。

目前, 国内外采用混合物工质的 J-T 节流制冷机的研究主要集中在液氮温区^[2~5], 对 70 K 以下至 50 K 温区的混合物还没有做过研究, 热力学分析和实验研究的文献未见报道。本文报道了 50~60 K 的混合物工质 No. 1($\text{Ne} + \text{N}_2 + \text{O}_2 + \Sigma \text{CHF}$) J-T 节流制冷机的初步热力学分析及可工作在 65~80 K 温度以上的混合物工质 No. 2($\text{Ne} + \text{N}_2 + \Sigma \text{CH}$) 在开式 J-T 制冷器的初步的实验结果。实验主要测试了最低制冷温度及启动时间, 这两个参数对快速 J-T 节流制冷机是两个重要的性能参数。

对 50~60 K 温区的节流制冷机的热力研究将进一步扩展 J-T 节流制冷器的使用范围,

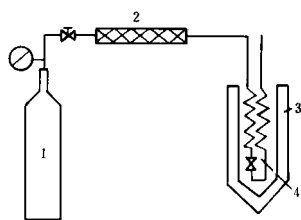


图1 实验系统

- 1—储气瓶；2—机械过滤器；
3—真空杜瓦；4—J-T 制冷器

对提高探测器的性能将会带来极大的好处。另外,它还可以应用到目前相对成熟的高温超导器件等。

1 实验情况介绍

实验系统分别由高压气瓶、连接管道、金属过滤器及J-T 制冷器部分组成,见图1。实验中由于没有找到混合物No.1中某两种组元,因而50~60 K温区的混合物节流制冷机只进行了热力分析。实验中采用了第二类混合物工质No.2进行了研究。第二类混合物工质可运行在65~80 K温区以上。温度降温曲线由计算机实时采集,温度计为中科院低温计量站标定的铜-康铜热电偶温度计。降温曲线的纵坐标为热电势,单位 μV 。

降温曲线的纵坐标为热电势,单位 μV 。

2 实验结果及分析

对第一类混合物,其主要组元 O_2 与 N_2 在某种成分分配比时,在标准大气压下有相当低的共晶温度,最低的共晶温度在 N_2 与 O_2 的比例为 1:3 左右时,其最低的共晶温度接近 50 K,这样,基于这种组成的混合物用作J-T 节流制冷机的工质时,就有可能达到 50 K 以上的制冷温度。但仅采用该二元混合物不可能获得低于 77 K 以下的温度,这是因为该二元混合物在 78 K 温度左右发生相转变,从而与节流制冷效应的下转变曲线相交。为此应加入下转变温度

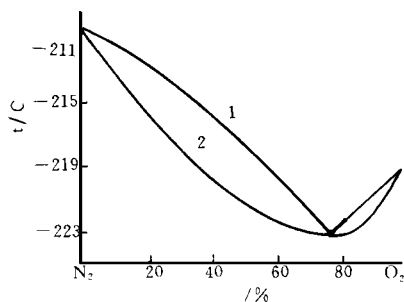


图2 氧与氮在一个大气压下的低温相图

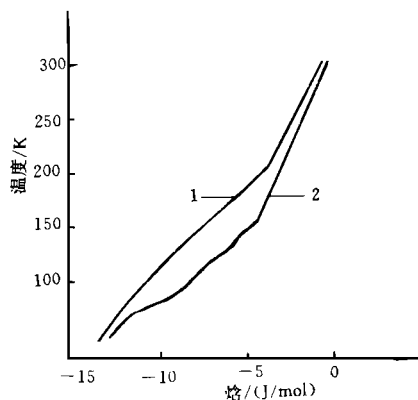


图3 某种配比的混合物No.1的焓温图

更低的组元如 Ne 。 Ne 的上转变温度为 223 K,下转变温度低于 50 K。这样,在 50~60 K 温区节流制冷效应实际由 Ne 产生。 Ne 在 223 K 以上节流出现负效应。为弥补这一损失,需要在此三元混合工质中加入高沸点的组元,但高沸点组元的含量很少,这是因为高沸点组元的凝固温度通常较高。

第二类混合物主要组元为 N_2 ,适当加入高沸点的碳氢化合物而形成的混合物可以得到工作 80 K 以上的高效率的J-T 节流制冷机,在加入少量 He 、 H_2 或者 Ne 就可以使J-T 节流制冷机运行在 65~80 K 之间。

图2是氧与氮在1个大气压下的低温相图。图中表明在一定的组成下该二元混合物的共晶温度可接近50 K,因此,采用基于该二元混合物的更多元的混合物工质可以完成工作在50~60 K温区的J-T节流制冷机。图3为某种配比的混合物No.1的焓温图。计算表明在混合物压力为6 MPa时的制冷量为245 J/mol。如要在50 K获得1 W的制冷量,则气量为5 L/min左右。考虑到实际过程中的损失,估计气量消耗会在8 L/min左右。为了与纯氮对比,还计算了纯氮的焓温图,见图4。

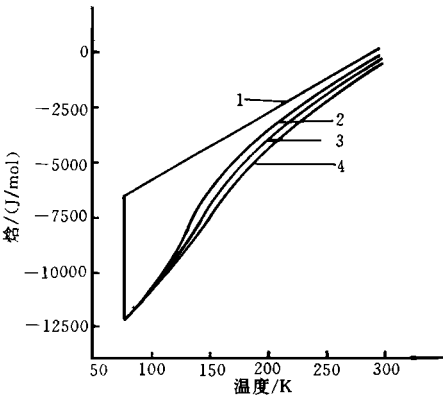


图4 纯氮的焓温图

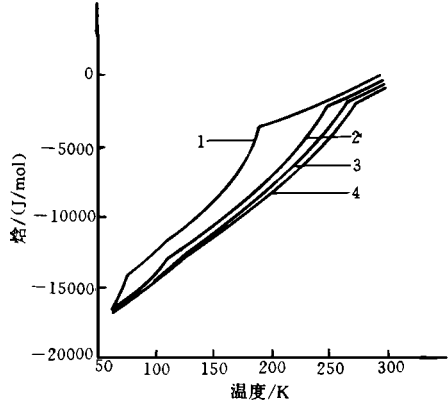


图5 某种配比的混合物No.2的焓温图

图5为No.2混合物工质的焓温图。从计算结果来看,该混合工质可获得64~65 K的最低温,但在这一温度下没有制冷量。在6 MPa的情况下,该混合物可以在75 K的温度下获得1 000 J/mol的制冷量,而在2 MPa的情况下大约仅能获得350 J/mol制冷量。如果制冷器的各种损失很小,也仍然能达到64~65 K左右的低温。图6为混合工质在5.2 MPa的实验情况,实验中获得了73~74 K的最低温度。图7为12 MPa的纯氮的实验降温曲线,实验中获得

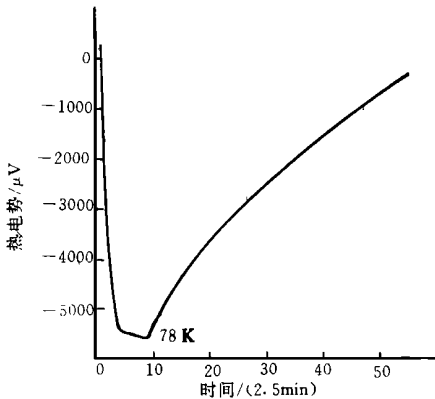


图6 5.2 MPa时,混合物No.2的降温曲线

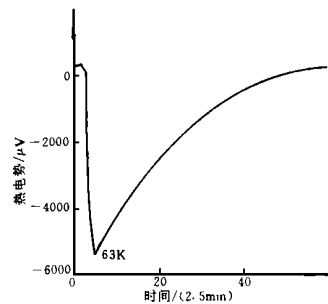


图7 12 MPa时,纯氮的降温曲线

83 K 的低温。从计算来看,采用混合物在工作压力为 5.0 MPa 左右是可以达到 65 K 左右的温度,但实验中没有达到。分析是该 J-T 节流制冷器低压通道流动阻力过大,使背压远大于 0.1 MPa,这一点从采用纯氮的对比实验研究可以看出,因为纯氮仅获得了 83 K 的低温。

3 结论

采用第二类混合物工质 No. 2 从理论上和实验上都表明可以提高液氮温区 J-T 节流制冷机的热力性能;采用第一类混合物工质 No. 1 从理论上表明可以获得 50~60 K 的低温,下一步将进行实验研究。

参 考 文 献

- 1 罗二仓, Yakuba V V, Lobko M P. 等. 低工作压力下的混合物节流制冷机的实验研究. 真空与低温, 1995(4): 256~259
- 2 罗二仓, 周远. 采用混合物作工质的 JT 节流制冷机. 真空与低温, 1995(3): 163~167
- 3 Brodysky V M. The XII International refrigeration conference, 1973: 451~457
- 4 Little W A. Recent developments in Joule-Thomson cooling: Gases, coolers, and compressor, Proc, 4th Int. Cryocooler Conf., 1988: 3
- 5 Longsworth R. 80 K closed cycle throttle refrigerator, Cryocooler 8, Plenum Press, NY 1995: 537

作者简介: 罗二仓, 29 岁。1990 年毕业于清华大学热能系空调专业, 1990 年被保送到中国科学院低温技术实验中心攻读硕士, 1993 年获工学硕士学位。1994 年考取中国科学院低温中心与华中理工大学低温工程联合博士点的博士, 现为低温中心在职博士生。

《中国学术期刊(光盘版)》入编 期刊已有 800 多种

到今年年初,《中国学术期刊(光盘版)》的入编期刊已近 800 多种。理工类的入编期刊除本刊而外还有:物理学报、物理、力学学报、力学与实践、硅酸盐学报、化学进展、地震学报、计算物理、宇航学报、计算机集成制造系统、计算机工程与应用、矿床地质、环境科学研究、气象、化工机械、计量学报、岩土工程学报、核动力工程、强激光与粒子束、计算机结构力学及其应用、机器人、辐射防护、铸造技术、光纤与电缆及其应用技术、高校应用数学学报(英文版)、功能高分子学报、中国生物医学工程学报。此外,还有 16 个高等院校学报(自然科学版)入编。

订购一张光盘可以拥有数以千计的期刊的全部内容。从 1997 年起本刊代销《中国学术期刊(光盘版)》,具体办法,下期通知。