

高频脉冲管制冷机连管影响研究

荀玉强^{1,2} 杨鲁伟¹ 蔡京辉¹ 梁惊涛¹

(1. 中国科学院理化技术研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘要 针对高频脉冲管制冷机实际应用中引入的连管进行了研究, 实验结果表明加长连管导致性能下降的关键因素在于流动阻力损失, 在选取时应尽量减少连管长度, 在长度无法改变的情况下, 可以选用较大直径的连管以减少流动损失, 另外运行在略低的频率也会对制冷性能下降有所改善。

关键词 脉冲管制冷机; 高频; 连管

中图分类号: TB61 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2010)03-0366-03

THE INFLUENCE OF TRANSFER LINE BETWEEN COMPRESSOR AND COOLER FINGER

XUN Yu-Qiang^{1,2} YANG Lu-Wei¹ CAI Jing-Hui¹ LIANG Jing-Tao¹

(1. *Technical Institute of Physics and Chemistry, CAS, Beijing 100190, China;*

2. *Institute of Mechanics, CAS, Beijing 100190, China*)

Abstract Based on an optimized pulse tube cryocooler (PTC), the influence of transfer line between compressor and cooler finger was investigated. The experimental research shows that transfer line will deteriorate the PTC performance due to flow friction. Less length, bigger diameter and lower operation frequency will gain considerable improvement.

Key words pulse tube cryocooler; high frequency; transfer line

0 引言

脉冲管制冷机是小型低温制冷机的一种, 主要为相关的低温应用场所提供有效的冷源, 可使低温电子器件和传感器获得更好的性能和效率。由于冷端没有运动部件, 振动小, 可靠性高, 且可媲美斯特林制冷机的效率, 高频脉冲管制冷机得到了广泛的重视, 目前实用化进展很快^[1]。

实际应用过程中, 针对特定使用要求, 例如隔绝压缩机本体的振动电磁干扰, 布置安装空间有限等, 会考虑使用连管^[2]将冷指与压缩机远置。连管的参数选择对制冷机性能会有较大的影响, 通常认为压缩机与冷指之间的死体积会导致制冷性能恶化, 应尽量减少这部分体积, 但过细的连管直径会带来较大的流动阻力损失, 所以本文展开实验研究, 实际考察了不同尺寸连管对制冷性能的影响, 为连管尺寸参数的选择提供依据。

1 实验系统

连管的实验装置参见图 1。实验采用自制的较大功率的线性压缩机, 脉冲管为一型已优化的较大直

径的同轴冷指, 冷指优化频率为 42 Hz, 44 Hz, 回热器热端采用水冷, 压缩机采用风冷, 充气压力通常为 3.0 MPa。

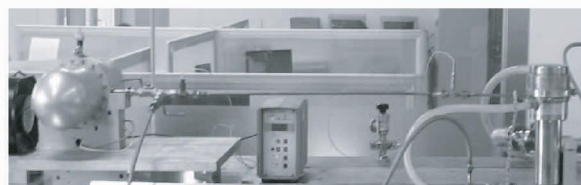


图 1 连管实验装置

Fig. 1 Schematic of experimental equipment

进行两类比较: 第一类是固定连管为直径 4 mm, 变化连管长度, 分别选取 500 mm、1000 mm、1500 mm 长度; 第二类是固定连管长度为 500 mm, 变化直径分别选取了 3 mm、4 mm、5 mm, 文中还补充对比了 6 mm 直径的连管, 未采用更大直径主要是由于脉冲管和压缩机本身固有连接结构已不适于装配更大直径的连管。

收稿日期: 2009-12-12; 修订日期: 2010-02-11

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (No.50890181)

作者简介: 荀玉强 (1980-), 男, 河南南阳人, 博士后, 主要从事低温制冷技术的研究。

2 连管长度与制冷性能

连管的引入导致沿程摩擦阻力损失的增大, 而且连管长度越长, 流动损失越大, 制冷性能相应也就恶化越多。

图 2 给出了直径 4 mm, 不同连管长度下对制冷机无负荷最低温度曲线。连管越长, 脉冲管制冷机制冷性能下降越多。大致数据为, 直径 4 mm 的连管, 每加长 0.5 m, 同输入功率条件下, 冷头无负荷温度上升约 3~4 K; 这意味着为达到相同的制冷温度, 每加长 0.5 m, 压缩机功率需增大约 20 W, 损失还是较为可观的。

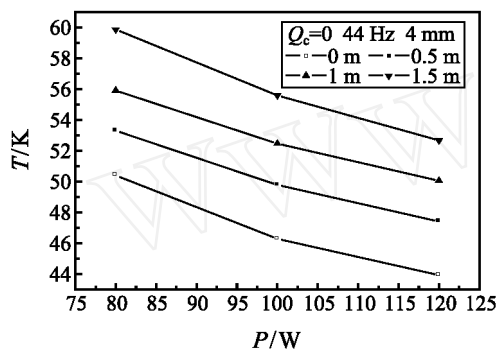


图 2 不同连管长度对制冷温度的影响
Fig. 2 Temperature with different length

图 3 给出了直径 4 mm 的连管, 在 44 Hz、80 W 输入条件下, 不同连管长度对制冷量的影响。对应连管 0 m、0.5 m、1.0 m、1.5 m, 单位制冷量温升分别为 9.9 K/W、11.2 K/W、12.8 K/W、14.9 K/W, 对应单位温差制冷量为 0.101 W/K、0.089 W/K、0.078 W/K、0.067 W/K。每加长 0.5 m, 制冷能力损失约为 12%~14%左右。通过更多的数据对比, 可以发现每加长 0.5 m, 为达到相同制冷能力, 压缩机功率约需要增大 20 W。

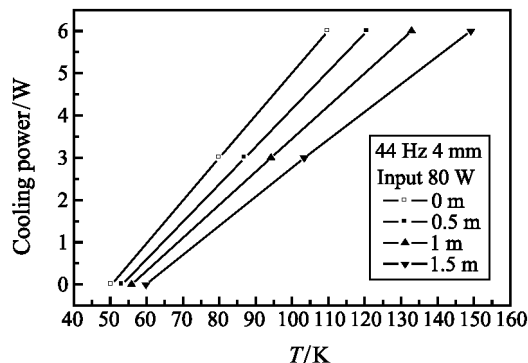


图 3 不同连管长度对制冷量的影响
Fig. 3 Cooling power with different length

3 连管直径与制冷性能

不同直径连管对制冷温度的影响参见图 4, 连管长度统一为 500 mm。实验结果表明对于直径 5 mm 的连管, 由于其较小的流动摩擦阻力损失, 制冷性能恶化最为轻微; 而随着连管直径的减小, 流动摩擦损失增大, 导致制冷性能逐渐恶化, 采用 0.5 m 长 3 mm 连管, 制冷性能恶化最严重, 120 W 输入条件下, 制冷温度较 1.5 m 长直径 4 mm 连管时还高。数据也显示, 直径 5 mm 的连管相对于 4 mm 改善有限。

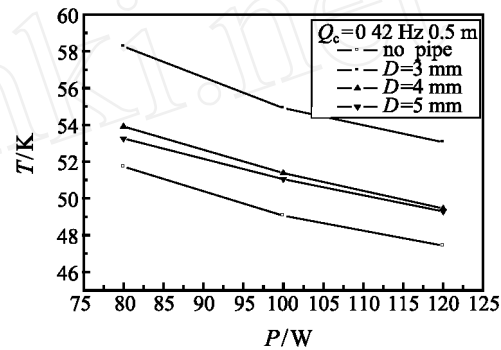


图 4 不同连管直径对制冷温度的影响
Fig. 4 Temperature with different diameter

图 5 给出了长度 500 mm 时, 不同直径连管对制冷量的影响。同样由图可以看出, 直径 3 mm 连管带来的损失最大, 制冷量曲线斜率下降也最多, 4 mm 和 5 mm 直径连管的制冷量有一定下降, 但下降不多, 直径 5 mm 连管效果略好于 4 mm 连管, 但区别也同样有限。

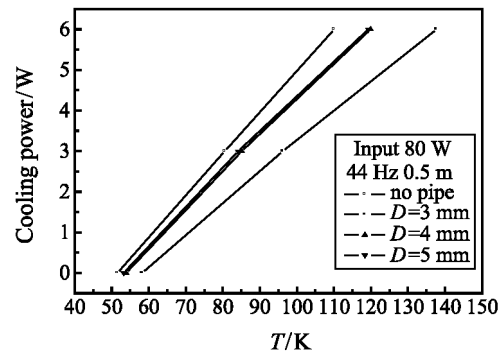


图 5 不同连管直径对制冷量的影响
Fig. 5 Cooling power with different diameter

直径 5 mm 的连管相对于 4 mm 改善有限, 直径 4 mm 相对于 3 mm 改善十分明显。这主要是由于原有压缩机和冷指的接口直径均为 4 mm, 采用 3

mm 和 5 mm 连管还存在截面扩大缩小问题, 这增大了一部分流动损失, 使得 3 mm 的性能恶化更为明显, 也使 5 mm 连管的改善效果减小。

基于以上情况, 进行了直径为 6 mm, 长度 500 mm 的连管补充实验, 限于制冷机本身固有结构, 已不适合引入更大直径的连管, 所以未进行 6 mm 以上连管实验。实验结果表明, 采用 6 mm 直径, 500 mm 长度连管后, 制冷机性能相对于不用连管基本无变化。相对于直径 4 mm 的连管, 性能改善明显。据此可以认定对于连管而言, 连管空体积的影响很小, 改善流动阻力损失是最为关键的。

4 连管与运行频率

在不采用连管的时候, 对比工作频率 42 Hz, 44 Hz。两者的无负荷最低温度和制冷斜率相差不大, 最低温度方面, 44 Hz 略好, 斜率方面, 42 Hz 略好, 但两者区别很小, 如图 6 所示。

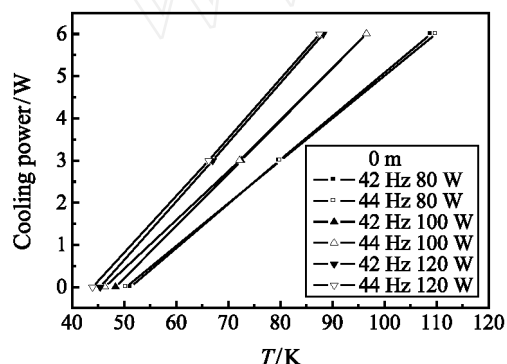


图 6 未采用连管时, 频率的影响
Fig. 6 PTC's performance without transfer line

采用直径 4 mm, 长度 1.5 m 连管进行实验, 对比频率 42 Hz, 44 Hz。在无负荷最低温度方面, 两者区别不大, 但在制冷斜率方面, 42 Hz 时明显好一些, 如图 7 所示。对于长度 1.5 m 直径 4 mm 的连管, 运行频率 44 Hz 时, 单位温升制冷量比 42 Hz 约

下降 10%, 这一差别还是还是很可观的。

当然, 制冷机优化频率与很多因素有关, 实验结果主要表明, 对于连管, 在可行的范围内略降低运行频率会好一些。

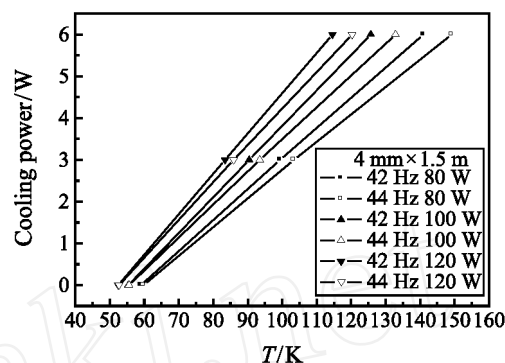


图 7 采用直径 4 mm, 长度 1.5 m 连管, 频率的影响
Fig. 7 PTC's performance with transfer line

5 结 论

针对高频脉冲管制冷机实际应用中引入的加长连管进行了研究, 实验结果表明加长连管导致性能下降的关键因素在于流动阻力损失, 连管空体积对性能的影响较小。在选取时应尽量减少连管长度, 在长度无法改变的情况下, 可以选用较大直径的连管以减少流动损失, 另外运行在略低的频率也会对制冷性能下降有所改善。

参 考 文 献

- [1] 杨鲁伟. 斯特林型高频脉冲管制冷机的现状与样机研制 [J]. 低温与超导, 2003, 31(3): 1-6
YANG Luwei. Progress of Stirling-Type High Frequency Pulse Tube Coolers and Development of Prototypes Driven by Commercial Linear Compressors [J]. Cryogenics and Superconductivity, 2003, 31(3): 1-6
- [2] Spoor P S, Corey J A, Long Transfer Lines Enabling Large Separations between Compressor [C]//Cryocoolers 14. Edited by Miller S D and Ross, Jr R G. Boulder: Colorado, 2007: 225-230