

# 新型可变容量空调系统的理论与实验研究

邓立生<sup>1,2</sup> 何兆红<sup>1,2</sup> 呼和涛力<sup>1,2</sup> 窪田光宏<sup>3</sup> 黄宏宇<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640;  
2. 中国科学院可再生能源重点实验室, 广州 510640;  
3. 日本名古屋大学, 名古屋 464-8603)

**摘要** 针对冷暖空调在夏季制冷和冬季制热运行时, 由于室内室外工况差异大而造成系统效率低的情况, 本文提出了一种新的可变容量空调系统。该系统在传统空调系统中压缩机排气 (或者吸气) 的位置接入可变容积的变容装置, 通过改变装置的容积吸入或者吐纳制冷剂到循环系统中, 以改善制冷剂在不同工况下的循环效率。为了对该可变容量空调系统进行探究, 利用焓差实验室对搭建的系统进行了实验研究。实验在室内干湿球温度为 27°C/19°C 的情况下, 测试了系统在室外干球温度 29°C 和 35°C 的变容特性。结果表明, 在不同的工况下, 改变变容装置的容积, 调整参与系统循环的制冷剂的质量, 有利于提高系统在不同工况下的能效。

**关键词** 变容; 空调; 制冷量; 能效比

**中图分类号:** TK123 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2017)01-0006-05

## Concept and Study of the Novel Variable Capacity Air-conditioning System

DENG Li-Sheng<sup>1,2</sup> HE Zhao-Hong<sup>1,2</sup> HUHETAOLI<sup>1,2</sup> KUBOTA Mitsuhiro<sup>3</sup> HUANG Hong-Yu<sup>1,2</sup>

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;  
2. Key Laboratory of Renewable Energy, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;  
3. Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan)

**Abstract** For the air conditioning system cooling in summer and heating in winter, the large difference between indoor and outdoor conditions caused the system efficiency lower. This paper proposed a new method develop a novel type variable capacity system. The novel system is based on the traditional air-conditioning system with the variable volume container connecting the discharge (or suction) of the compressor. The variable volume container can change the volume to charge and discharge refrigerant into the circulation system, to improve the system efficiency under different conditions. In order to investigate the novel system, a system was established and experimentally studied in the enthalpy difference lab. The variable capacity characteristic experiments were performed under the outdoor dry bulb temperatures of 29°C and 35°C while the indoor dry bulb and wet bulb temperature fixed at 27°C and 19°C. Under different conditions, the results showed the refrigerant mass in system cycle can be adjusted by varying the volume of container which is beneficial to improve the efficiency of the system under different conditions.

**Key words** variable capacity; air conditioning; cooling capacity; coefficient of performance

## 0 引言

随着经济的发展, 电压缩式空调技术作为制冷空调中最为成熟的技术, 被广泛应用在民用生活中, 改善着人类居住和工作的环境。同时, 在我国长江、黄河流域的光大地区因夏季炎热需要制冷, 冬季寒冷需要供暖, 促进了空调往冷暖两用的方向发展。随着电压缩式空调的发展和普及推广, 人们对其运行特性及节能方面也越来越关注。

目前, 国内外在空调节能技术主要有变频调节、

数码涡旋压缩机、多机并联变容、液体制冷剂储存变容、制冷剂流量调节等<sup>[1,2]</sup>。多联机并联变容、液体制冷剂储存变容这两种节能方式由于控制精度较差, 难以实现高效节能。制冷剂流量调节技术主要是电子膨胀阀、热力膨胀阀等设备作为流量调节的辅助手段, 对节能的帮助有限<sup>[3]</sup>。而变频调节技术是通过改变压缩机输入电流的频率以改变压缩机转速来实现制冷剂流量的调节, 从而改变空调的制冷量

收稿日期: 2016-03-15; 修订日期: 2016-12-17

基金项目: 国家自然科学基金 (No.51541609)

作者简介: 邓立生 (1985-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事制冷空调技术方面的研究。 通信作者: 黄宏宇, 研究员, huanghy@ms.giec.ac.cn

或者制热量,同时使得耗电随之改变。变频技术虽然控制精度高,但这种方式是有级调节<sup>[4]</sup>,且蒸发温度和冷凝温度是反向调节的,无法在同时兼顾室内是室外环境的变化下实现能效最大化。数码涡旋压缩机节能技术是通过涡旋盘的啮合与脱开来实现容量 100%或者零输出,并利用控制容量 100%和零输出的时间配比实现容量调节,从而适应不同的工况达到节能目的。尽管数码涡旋压缩机以上述方式实现容量输出的无级调节,但是这种方式会导致气体泄漏影响压缩机的效率<sup>[5]</sup>。另外,还有利用混合工质进行变容量调节,它的原理是利用非共沸混合工质的组成特性,通过改变系统中混合工质的浓度比例来达到系统容量调节的目的<sup>[6-8]</sup>。但是难以实现精确调节,性能受高低组分分离效果的影响,而且相比起纯制冷剂,在相同情况下,混合工质在一定程度上会使得系统能效降低。

另外,不少研究表明,当冷暖空调系统的运行工况从夏季制冷切换到冬季制热模式时,将产生多余的制冷剂<sup>[9]</sup>。Kim 和 Braun<sup>[10]</sup>在制冷剂充灌量对热泵空调系统性能的实验结果,表明在制热和制冷模式中,具有不同的最佳充灌量。Palmiter et al.<sup>[11]</sup>也在制冷制热工况下对采用 R410A 的空气源热泵系统进行了实验研究,研究制冷剂充灌量对系统性能的影响的研究,得出类似的结果。虽然上述提到的节能技术能够适应不同工况的变化,提升系统性能,但是由于自身技术的缺点,无法合理处理多余的制冷剂,限制了系统能效的提升。

为此提升空调的性能,特别是冷暖空调,本文提出一种新的可变容量空调系统,其特点是在空调系统中接入可变容积的变容装置,通过执行机构无级调节变容装置内部容积,以吸入或者吐纳制冷剂改变系统中参与循环的制冷剂的质量,从而实现系统的容量调节,使得系统在不同工况下处于最佳效率下。然后,通过对装有变容装置的空调系统,在焓差实验室进行初步实验,研究在两个不同工况下,变容特性对空调系统性能的影响。

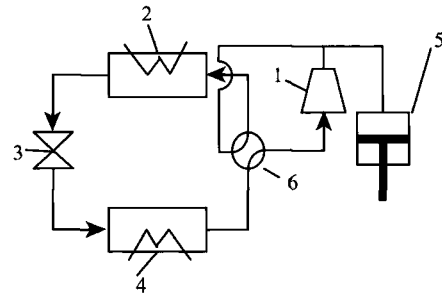
## 1 可变容量空调系统的概念

### 1.1 可变容量空调系统的结构及设计原理

可变容量空调系统是一种新的可变容量空调系统,其特点是在常规的空调系统中装有可以改变内部容积的装置,使空调系统内部容积可变,依靠内部容积的变化来调节参与循环的制冷剂平均密度,从而实现容量调节。

图 1 为可变容量空调系统的结构示意图。可变

容量空调系统主要由 6 个部件组成,包括压缩机、冷凝器、节流装置、蒸发器、变容装置以及四通换向阀。变容装置是连接在压缩机排气的位置。变容装置可通过利用外部动力,可改变容积的容积,实现系统的内部容积的可变。



1. 压缩机; 2. 冷凝器; 3. 节流装置; 4. 蒸发器;  
5. 变容装置; 6. 四通换向阀

1. Compressor; 2. Condenser; 3. Throttling device; 4. Evaporator;  
5. Variable volume container; 6. Four-way reversing valve

图 1 可变容量空调系统的结构示意图

Fig. 1 Structure of variable capacity air-conditioning system

根据我国家用空调的设计要求,夏季制冷的设计环境温度分别为室内为 27°C 和室外为 35°C,温度区间为 8°C;而冬季制热工况的设计环境温度为室外为 7°C 和室内为 20°C,温度区间为 13°C。但这两个温度区间并不一致,其温度高低相差 15°C 以上。同时在上述两种工况下,工质最佳充灌量差异比较大。使得传统的空调系统无法处于最佳能效运行。

由于可变容量空调系统能够吸入或者吐纳制冷剂,调节系统制冷剂的平均密度,实现温度区间移动。为了获得较高的能效,可容量空调系统的设计是依据夏季制冷的工况进行换热器的设计,以及压缩机和节流装置选型。而可变容装置的设计是根据设计好的系统,在夏季和冬季标准工况运行下的最佳充灌量之差来进行设计的,保证装置的内部容积能够完全容纳多余的制冷剂。

### 1.2 系统的容量调节方法及节能原理

图 2 中循环 1-2-3-4-1 为常规空调系统的制冷或者制热过程,循环 1'-2'-3'-4'-1' 和 1''-2''-3''-4''-1'' 分别为可变容量空调系统的制冷过程和制热过程。从图中可以看出,当在制冷过程中,制冷剂处于过少的情况下,可通过减少变容装置的容积,吐纳足够的制冷剂,增加制冷剂的平均密度,提高蒸发温度和冷凝温度,即循环 1'-2'-3'-4'-1'。当在制热过程中,制冷剂密度制冷剂处于过多的情况下,可通过增加变容装置的容积,吸入多余的制冷剂,降低制冷剂

的平均密度,降低蒸发温度和冷凝温度,即循环 1''-2''-3''-4''-1''。

从制冷到制热过程的工况变化,利用变容装置调节内部容积,改变制冷剂的平均密度,以达到将系统的蒸发温度和冷凝温度移动变化,实现运行温度区间的平移,维持系统循环过程处于高效的状态,达到节能效果。

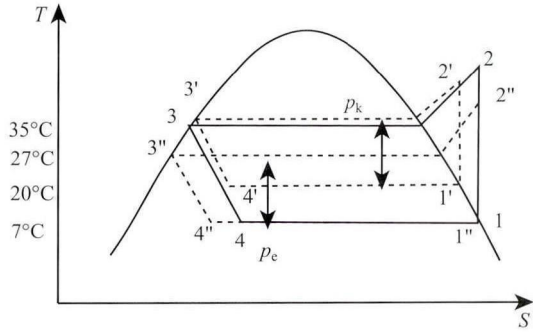


图 2 变容空调系统的 T - s 图

Fig. 2 T - s diagram of variable air-conditioning system

0~240 mm)。

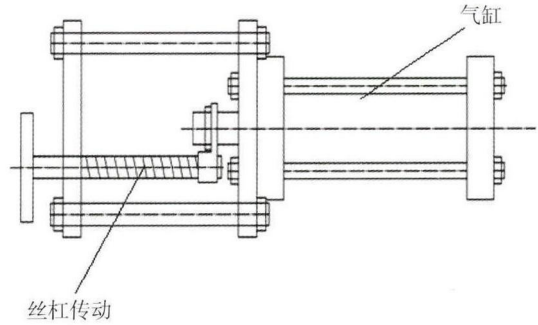


图 3 变容装置结构示意图

Fig. 3 Structure of variable volume container

表 1 实验工况

Table 1 Experiment conditions

工况	室内		室外	
	干球 温度/°C	湿球 温度/°C	干球 温度/°C	湿球 温度/°C
1	27	19	29	24
2	27	19	35	24

## 2 实验装置和方法

为了研究所提出的可变容量空调系统是否可行,本文在一套常规的空调系统中装入设计的变容装置,并利用焓差实验室进行研究探讨,图 3 为设计的变容装置的示意图,由丝杠传动和气缸两部分组成,通过丝杠传动气缸活塞杆,改变气缸内部的容积。实验方法为在设定的两个不同工况下,调整变容装置的容积,从而改变系统的性能,实验工况如表 1 所示。可通过手动旋转丝杠改变容积(活塞杆长度变化为

焓差实验室的装置如图 4 所示。实验系统主要包括:空气处理机组、加热器、加湿器、室内外侧空气干湿球测温装置(Pt100 铂电阻温度传感器)、以及室内风量测量装置。在压缩机进出口各布 2 个测压点和测温点,在冷凝器出口布置 1 个测压点和 1 个测温点。系统的输入功率是通过电量表 3433B 来测量的。实验测量参数的精度如表 2 所示。经过误差分析方法<sup>[12]</sup>计算所得制冷量的误差是 2.01%、EER 的误差是 2.06%。

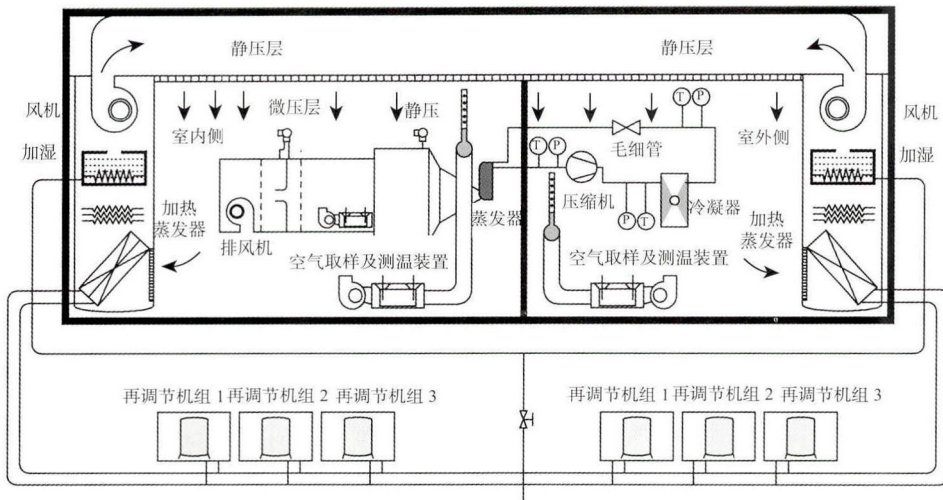


图 4 焓差法实验装置图

Fig. 4 Schematics of enthalpy method lab

表 2 测量参数和精度

Table 2 Measuring parameters and accuracy

测量参数	精度
温度	$\pm 0.1\text{K}$
制冷剂压力	$\pm 0.5\%$
功率	$\pm 0.5\%$
风量	$\pm 0.1\%$

### 3 结果与讨论

图 5 为排气压力随杆长度的变化规律。随着容器长度的增加, 排气压力呈下降趋势。这是由于容器长度的增加, 减少了在循环系统中的制冷剂, 从而使得排气压力下降。图 6 为压缩比随容器长度的变化规律。压缩比随着容器长度的增加, 呈现上升的趋势。而排气压力是随着容器长度的增加而下降的, 这说明压缩机的吸气压力在下降。综合排气压力和吸气压力的影响, 压缩比呈上升趋势。压缩比上升趋势间接的反映了系统的制冷剂循环流量的减小趋势。

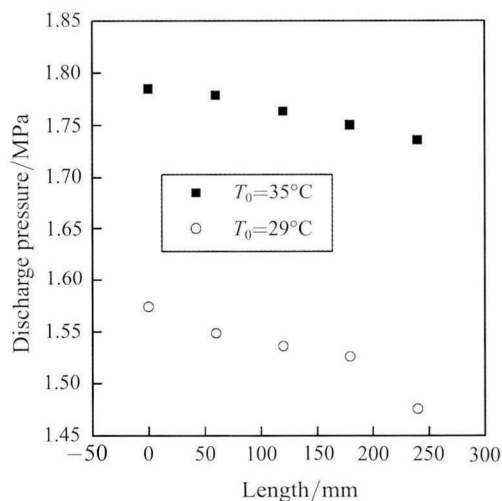


图 5 排气压力随杆长度的变化

Fig. 5 Discharge pressure varying with lead screw length

图 7 为制冷量随容积长度的变化规律。随着容器的长度增加, 在两个不同的工况下, 系统的制冷量呈现下降的趋势。这是由于杆长度增加, 增加了进入容器的制冷剂, 减少了系统参与循环的制冷剂, 从而减少了冷凝器尾部的制冷剂, 降低了过冷度, 导致进入蒸发器制冷剂的焓值增加, 制冷量因此下降。对比两个不同的工况, 室外温度  $35^\circ\text{C}$  的时候, 系统的制冷量受容积吸入制冷的影响要高于  $29^\circ\text{C}$  的时候, 这说明高温工况受到循环制冷剂的影响更多, 而变容

装置在高温工况时的作用可能会更大。

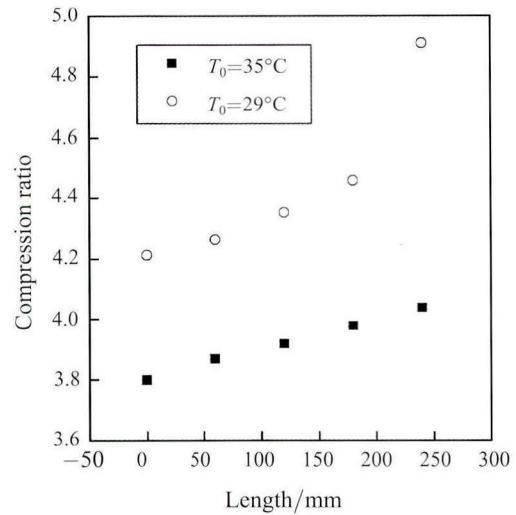


图 6 压缩比随杆长度的变化

Fig. 6 Compression ratio varying with lead screw length

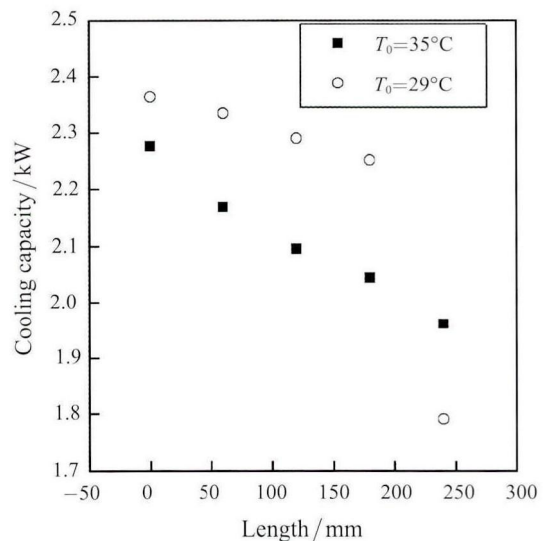


图 7 制冷量随杆长度的变化

Fig. 7 Cooling capacity varying with lead screw length

图 8 为 COP (能效比) 随容器长度的变化规律。在室外温度  $29^\circ\text{C}$  时, COP 先呈现小幅度上升后下降的趋势。在室外温度  $35^\circ\text{C}$  时, 随着长度的增加, COP 呈现下降的趋势, 这是因为在这个工况下, 制冷剂不足, 若增加制冷剂还可以提高系统性能。COP 是受制冷量和输入功率的两者的影响的, 而制冷量是随着容器长度的增加而下降的, 这说明输入功率是随着容器长度的增加而减小的。而且, 在室外温度  $29^\circ\text{C}$  的工况下, 在  $0\sim 120\text{mm}$  之间输入功率占据主导因素, 使得在这个区间存在最佳能效。

通过比较两个不同工况的结果, 这说明两个工

况的最佳参与循环制冷剂的量并不在同一区间下,在不同工况下,调节变容装置,有利于提高系统的能效。虽然实验数据显示,在低温工况性能的提升很少,但是在高温工况(或制热工况)的变化较大,因此有必要在往室外温度高于  $35^{\circ}\text{C}$  的进行更多研究。而且,当系统由夏季制冷模式转变到冬季制冷模式的时候,两种工况室内外温度差异更大,在制热工况的性能特性研究,也将是下一步研究的重点工作。

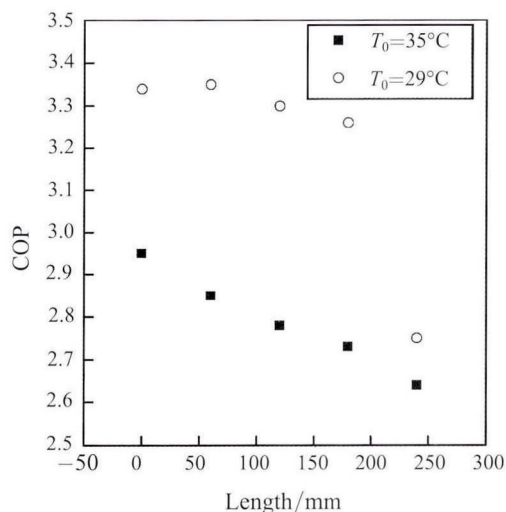


图 8 COP 随杆长度的变化

Fig. 8 COP varying with lead screw length

## 4 结 论

为此提升空调的性能,特别是冷暖空调,本文提出一种新的可变容量空调系统,并阐述其可变容量的原理及设计原理,通过对搭建了可变容量空调系统进行初步的实验探究,得出以下结论:

1) 通过改变变容装置的容积,可以改变参与系统循环的制冷剂质量,改变系统的性能;

2) 在不同的工况下,改变变容装置的容积,使得参与系统循环的制冷剂的质量发生变化,有利于提高系统在不同工况下的能效;

3) 通过初步的实验探究,发现变容系统在高温工况可能具有更大的潜力,有必要进行更多工况的(包括制热工况)的研究。

## 参 考 文 献

[1] 王汝金,张秀平,贾磊,等. 空调压缩机变容量调节技术 [J]. 低温与超导, 2011, 39(3): 58-62, 80  
Wang Rujin, Zhang Xiuping, Jia Lei, et al. Technology of

Varied Refrigerant Volume for Air-condition Compressor [J]. Cryogenics & Superconductivity, 2011, 39(3): 58-62, 80

[2] 张川,马善伟,陈江平,陈芝久,等. 电子膨胀阀节流机构流量特性的实验研究 [J]. 上海交通大学学报, 2006(2): 291-296, 300

Zhang Chuan, Ma Shanwei, Chen Jiangping, et al. Experimental Research on the Flow Characteristic of Electronic Expansion Valve [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006(2): 291-296, 300

[3] 石文星. 变制冷剂流量空调系统特性及其控制策略研究 [D]. 北京: 清华大学, 2000

Shi Wenxing. Characteristics of Variable Refrigerant Volume Air Conditioning Systems and Study on Control Strategy [D]. Beijing: Tsinghua University, 2000

[4] 林立,裴秀英. 变容量中央空调系统调节技术的比较分析 [J]. 制冷空调与电力机械, 2007, 28(5): 15-18

Lin Li, Pei Xiuying. Analysis of Different Technique in Variable Volume Central Air Conditioning System [J]. Refrigeration Air Conditioning & Electric Power Machinery, 2007, 28(5): 15-18

[5] 邓玉艳. 变制冷剂流量空调系统的节能分析 [J]. 制冷, 2003, 22(3): 71-74

Deng Yuyan. Analysis on Energy Saving of Variable Refrigerant Volume Air Conditioning System [J]. Refrigeration, 2003, 22(3): 71-74

[6] Kim M, Min S K, Kim Y. Experimental Study on the Performance of a Heat Pump System with Refrigerant Mixtures' Composition Change [J]. Energy, 2004, 29(7): 1053-1068

[7] 陈光明,张丽娜,陈斌. 混合工质变浓度空气源热泵系统的研究 [J]. 工程热物理论报, 2006, 27(2): 202-204

Chen Guangming, Zhang Lina, Chen Bin. Study of an Air Source Heat Pump with Altering Concentration of Mixture Refrigerant [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2006, 27(2): 202-204

[8] 张丽娜,陈光明,王勤. 一种新型变浓度热泵系统的实验研究 [J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(5): 553-556

Zhang Lina, Chen Guangming, Wang Qin. Experimental Study on New Variable Composition Heat Pump System [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(5): 553-556

[9] 苏顺玉,张春枝,陈俭. 热泵型空调系统制冷剂流量控制方法的研究 [J]. 暖通空调, 2009, 39(3): 128-130

Su Shunyu, Zhang Chunzhi, Chen Jian. Study of Refrigerant Flow Rate Control Methods in a Heat Pump Air Conditioning System [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2009, 39(3): 128-130

[10] Kim W, Braun J E. Impacts of Refrigerant Charge on Air Conditioner and Heat Pump Performance [J]. International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, 2010, 2433: 1-8

[11] Palmiter L, Kim J H, Larson B, et al. Measured Effect of Airflow and Refrigerant Charge on the Seasonal Performance of an Air-source Heat Pump using R-410A [J]. Energy and buildings, 2011, 43: 1802-1810

[12] Holman J P, Gajda W J. Experimental Methods for Engineers [M]. New York: McGraw-Hill Inc, 1989: 41-42