第 19 卷第 2 期　　长 沙 电 力 学 院 学 报 (自 然 科 学 版)　　Vol.19　No.2
2004 年 5 月　　JOURNAL OF CHANGSHA UNIVERSITY OF ELECTRIC POWER(NATURAL SCIENCE)　　May 2004

地源热泵空调系统制冷工质替代研究

郭　卉, 黄华军, 彭梦珑

(中南大学 交通运输学院,湖南 长沙　410075)

摘　要:从臭氧层破坏和全球温室效应等角度出发,通过对工质替代的意义较全面的分析,提出了替代工质的筛选原则,并建立制冷剂综合性能评价指标体系,同时分析适用于地源热泵的 HFC 替代工质.

关　键　词:空调系统;替代制冷工质;指标体系

中图分类号:TU 82　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1006-7140(2004)02-0072-04

Research on Alternative Refrigerant in GSHP Air Conditioning Units

GUO Hui, HUANG Hua-jun, PENG Meng-long

(School of Traffic & Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: According to Montreal Protocol Amendment, refrigerants R-22 still used in air conditioning systems will be universally banned by 2030 for their ozonosphere depletion and global greenhouse effect. Hence, research on refrigerant alternative for GSHP units is too urgent to be delay. Through analysis of the meaning and prospect of refrigerant alternative, the filtrating principle of refrigerant alternative is put forward, and index system of evaluation to performance of alternative refrigerants is dealt with, and finally several ideal alternative refrigerants for GSHP units are analyzed.

Key words: air conditioning system; refrigerant alternative; index system of evaluation

地源热泵是以大地为热源对建筑进行空调的技术,工作条件优于常规空调机组和风冷热泵机组,是建筑空调系统冷热源发展的方向.但是,该制冷系统制冷剂 R-22 对大气臭氧的消耗作用和存在温室效应,根据《蒙特利尔议定书》修正协议,即将在全球范围内禁用.因而,地源热泵空调系统制冷剂 R-22 的替代研究不容延缓.目前 R-22 替代工质的研究主要集中在对基本热物性和循环性能方面,结合制冷系统的替代研究很少.本文通过对制冷剂替代分析,提出地源热泵机组替代工质的筛选原则,分析了替代工质的各项性能评价指标,并按照递阶层次结构建立制冷剂性能评价指标体系.

收稿日期:2004-02-26
基金项目:湖南省科委科技计划基金资助项目(湘科[2001]第 288 号)
作者简介:郭　卉(1967-),女,湖南益阳人,中南大学交通运输工程学院工程师,学士,主要从事空调系统节能技术与室内空气环境评价的研究.

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.

1　替代工质的研究与筛选

1.1　工质替代研究的意义

地源热泵具有环保、节能、经济、可靠等显著的优点,是一种理想的"绿色空调技术".近几年,由于其优良的制热性能,地源热泵技术在全球范围发展迅速.仅在美国地源热泵数量就占全美空调系统的 19 %,个别州已超过 40 %,1999 年全美销售机组达 40 万台.据不完全统计,我国自 1996 年以来已建成使用的地源热泵工程有 130 多个,近 1 000 台热泵机组在运行,供热(冷)面积达 100 万 m^2,并且保持高速发展的趋势.

目前,地源热泵空调机组仍使用 R-22 作为制冷剂,工质替代问题尚未解决.地源热泵机组大量存在的 R-22,将严重威胁大气臭氧层,对大气环境造成严重的危害.地源热泵使用寿命一般为 15～30 a,现投入使用的系统有跨越 R-22 最后使用期限 2030 年的可能性,以后 20 a 内更是如此.投入使用的机器设备将因制冷剂 R-22 被禁用而报废,存在潜在的使用危机.同时,随着地源热泵技术的推广应用,机组中的 R-22 的潜在危害面也不断扩大.因而,地源热泵新技术中的工质替代问题的解决具有更加重要的价值和意义,有助于缓解制冷工业界面临的环境保护压力,有利于进一步推动新技术的广泛应用.

1.2　替代工质的筛选原则

R-22 禁用期限的提前,推动了其替代工质研究工作和发展,市场上出现了许多 R-22 替代产品.根据热泵系统对制冷剂的基本要求和工质替代发展的趋势,提出 R-22 替代工质的筛选原则:

1)　安全性:无毒不燃,在民用和商用建筑空调,保证制冷剂的安全使用是至关重要;

2)　环境性:臭氧破坏潜能 ODP = 0,全球变暖潜能 GWP 较小;

3)　直接灌注性:要求与原 R-22 系统的冷冻油互溶和材料相容,容积制冷量接近;

4)　热工参数:蒸发压力应与 R-22 接近,冷凝压力和排气温度尽量低;

5)　循环性能:性能系数 COP 和单位质量制冷量与 R-22 持平或更好.

目前很难找到一种纯物质其各项热物性和性能都接近 R-22,其潜在替代物多为 HFCs 混合物.对混合替代物而言,不仅要求其正常沸点和热工性能接近于 R-22,同时在蒸发和冷凝时的温度滑移尽可能小.

对于地源热泵机组而言,应选用臭氧破坏指标为零、GWP 值较小的工质作为制冷剂;同时要符合地源热泵的工作温度范围,并且在工作温度范围内有良好的制冷和制热性能.制冷时:蒸发温度在0～7 ℃,冷凝温度在 30～35 ℃;制热时蒸发温度在10～20 ℃,冷凝温度不超过 60 ℃.地源热泵机组将广泛应用在各种民用商业建筑中的大中型中央空调系统中,对替代制冷剂的安全性有特殊的要求.在没有证据证明制冷剂的安全性时,应拒绝使用其作为该机组的制冷剂.

2　替代制冷剂性能评价指标

地源热泵空调系统工质替代问题不仅是对 R-22 的潜在替代工质基本物性的研究分析,更是针对具体工质的热泵机组优化设计的过程.

2.1　安全评价指标

安全评价指标是指制冷剂泄露到空气中对人体的危害程度,主要指标有制冷剂的毒性和可燃性.制冷剂的可燃性用燃点表示,是指制冷剂蒸汽与空气混合后能产生闪火并继续燃烧的最低温度.制冷剂的毒性用豚鼠做实验,按它在制冷剂蒸汽中造成重伤或死亡的时间来划分毒性的等级.美国将制冷剂毒性划分为 6 个基本等级,从 1 级到 6 级,毒性逐次递减.

2.2　环境评价指标

环境评价指标是指环境对制冷剂的可接受性以及制冷剂对环境造成的影响程度,主要指标有臭氧破坏潜能(ODP)、全球变暖潜能(GWP)、光雾效应(VOC)和当量变暖因素(TWEI).臭氧破坏潜能是指制冷剂对臭氧层的危害程度,全球变暖潜能是指制冷剂造成温室效应的程度.当量变暖因素是指对制冷剂排放引起的直接温室效应和整个寿命期的能量消耗引起的间接效应的综合评价.

2.3　热工指标

热工指标是表示制冷剂循环性能的基本物性参数,主要指标有蒸发压力、冷凝压力、排气温度和滑移温度.这些指标基本反映了制冷剂的工作温度范围及适合的制冷系统的范围.

2.4　直接灌注指标

直接灌注指标是指制冷剂在原有的制冷系统不进行任何改动而直接替代程度以及与润滑油及材料兼容程度.主要指标有制冷剂与润滑油的互溶性、与材料的兼容性和单位容积制冷量.

2.5　制冷循环性能指标

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.

制冷循环性能指标是指制冷剂在标准制冷工况系统循环的各项性能参数,主要指标有单位质量制冷量、能效比和压比.这些指标基本反映了制冷剂的制冷能力和耗功情况.

2.6 制热循环性能指标

制热循环性能指标是指制冷剂在标准制热工况系统循环的各项性能参数,主要指标有单位质量制热量、能效比和压比.这些指标基本反映了制冷剂的制热能力和耗功情况.

3 基于AHP的综合性能评价指标体系

在工质替代过程中,从众多的替代制冷剂筛选出理想的替代工质,对其的性能评价是必不可少的.对制冷剂的评价不能依赖于对某个指标或某几个指标,必须综合各项评价指标进行性能评价,才能反映该制冷剂的替代性能.然而,目前还缺乏对替代制冷剂的性能评价方法和标准,使各种研制开发的替代制冷剂无法简单的比较优劣.

本文按照递阶层次结构建立的方法,根据影响制冷剂性能的各项指标的层次关系,初步建立制冷剂综合性能评价指标体系,如图1所示.

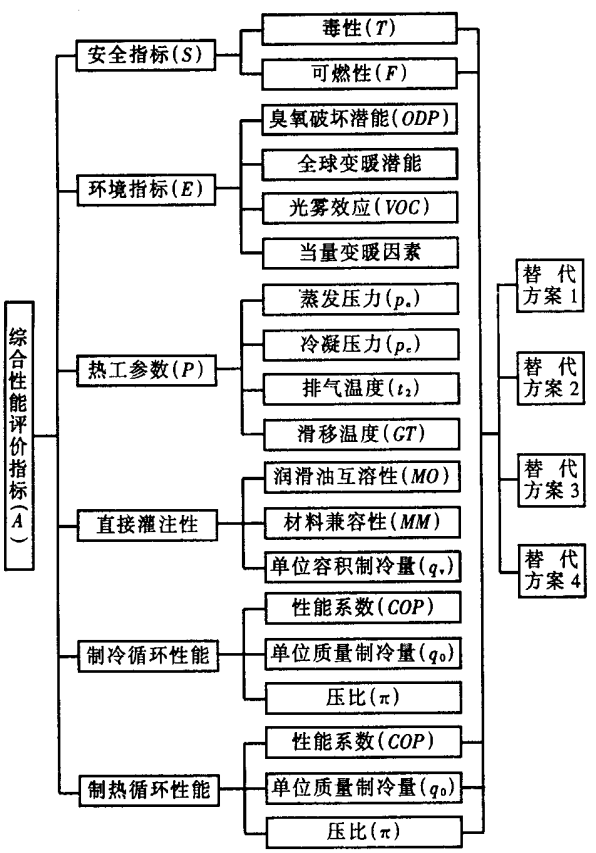

图1 制冷剂综合性能评价指标体系图

在建立递阶层次结构以后,上下层次之间元素的隶属关系就被确定了.两两比较、专家打分是层次分析法的核心思想.对于图1中列出的各项元素,专家根据经验和相关规定给出各元素之间相对固定的权重,就可以计算出各层元素对系统目标的合成权重,并进行排序.对于各项指标的具体权重分析将在后续的研究中展开.

4 工质替代分析

4.1 替代制冷剂物性对比

二氧化碳、丙烷和氨等自然制冷剂虽具有良好的热物性以及循环性能,但由于其使用安全性一直没有解决,而不宜作为地源热泵系统的替代制冷剂.HFCs及其混合物均具有与R-22相近的热力性质,被认为是目前地源热泵系统的理想替代工质.在HFCs类替代物质中,各种型号基本上是以R-23,R-125,R-134a等为基础产生的.制冷剂R-22的代表替代物质主要有R-134a,R-410A和R-407C等.三种替代制冷剂的基本物性参数如表1所示.

表1 制冷剂基本物性表

	R-22	R-134a	R-410A	R-407C
组成成分	R-22	R-134a	R-32/R-125	R-32/R-125/R-134a
成分比例(WT%)	1	1	50/50	23/25/52
标准沸点(℃)	-40.82	-26.2	-52.7	-43.6
临界温度(℃)	96.13	101.1	72.5	87.3
临界压力(MPa)	4.986	4.06	4.949	4.819
临界密度(kg/m^3)	524	515	500	515.78
分子量	86.48	102	72.56	86.2
ODP	0.05	0	0	0
GWP(CO_2=1.0)	1 300	1 200	1 890	1 600
安全等级	A_1	A_1	A_2/A_1	A_2/A_2/A1

4.2 替代分析

在众多混合工质中,R-407C在热力性质与R-22最为接近,特别是在容量和压力方面.由于R-407C是非共沸制冷剂,在蒸发时具有约5℃的温度滑移.若发生泄露,系统中的制冷剂的成分将发生改变,从而导致系统制冷量的下降和性能系数的改变.同时,R-407C的传热性较差,其换热面积将大大增加,且在换热器中存在明显的温度梯度,其管路应作特别布置.因而,影响其在大型空调系统的应用.

R-410A是R-32和R-125的近共沸混合物,温度滑移很小以致可以忽略的混合物.其热传导性能非

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

常好,在换热器中比 R-22 的传热性都高 5 %,且需很小的容积排量压缩机和需要很小的管路. 许多系统实验表明在系统按 R-410A 的特性进行优化后可得到比 R-22 更优良的性能,系统效率将会提高 5 %. 但是 R-410A 需在比 R-22 高 50 %的高压下运行,当以 R-410A 取代 R-22 时必需对系统进行重新设计,包括大部分部件需要承高压,热交换器需进行优化. 由于其压力过高,很少在大型空调系统中应用.

R-134a 是一种与 R-12 热力性质较为接近的纯物质,没有温度滑移;避免了使用混合工质的诸多麻烦,较适合于空调或其它蒸发温度较高的场合. R-134a 与 R-22 相比制冷系数较高,但其容积制冷量较低,需要大的压缩机容积排量和大管路设计. 需对利用 R-134a 的 R-22 设备进行重新设计以提高效能. R-134a 比较适合在大中型空调设备中应用. 同时在小型空调中已有多年的应用经验,其各项替代研究较为成熟.

5　结论

1)　HCFC 禁用期限的临近,推动了 R-22 替代工质研究的发展,地源热泵空调系统 R-22 替代研究已刻不容缓.

2)　为了评价各种工质替代性能,运用层次分析法建立制冷剂综合性能评价指标体系,为各种新研制开发的替代制冷剂提供评价方法.

3)　通过分析比较,认为 R-134a、R-410A 和 R-407C 是近期合适的 R-22 替代工质,建议在地源热泵空调系统设备中使用.

参考文献:

[1] 赵晓宇. 新制冷剂 THR02 的应用性能实验研究[J]. 制冷学报, 1998(4):1-6.

[2] 朱明善. CFCs 和 HCFCs 替代制冷剂的趋势与展望[J]. 制冷学报,2000(1):2-9.

[3] 张嘉辉. R-22 与其替代工质的性能比较与分析[J]. 工程热物理, 1999, 20(5):534-537.

[4] 王莲芬,许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京:中国人民大学出版社,1990.

[5] Vineyard E A, Sand J R, Statt T G. Selection of Ozone-safe, Non-azeotropic Refrigerant Mixture for Capacity Modulation in Residential Heat Pump[J]. ASHARE Trans,1989,95(1):34-45.

[6] Eckels S J, Doerr T M, Pate M B. Heat transfer coefficients and pressure drops for R-134a and an Ester lubricant mixture in a smooth tube and a micro-fin tube[J]. ASHRAE Trans,1998,104(1):366-375.

[7] Ouazia B, Snelson W K. Predicting system performance of alternative refrigerants using a water-water heat pump[J]. ASHRAE Trans,1994,100(2):140-147.

[8] Robinson J H, O'Neal D L. The impact of charge on the cooling performance of an air-air heat pump for R-22 and three binary blends of R-32 and R-134a[J]. ASHRAE Trans,1994,100(2):529-537.

[9] Spatz M W, Zheng J. R-22 alternative refrigerant: performance in unitary equipment[J]. ASHRAE Trans,1993,99(2):779-785.

[10] Smit F J, Meyer J P. Investigation of the potential effect of zeotropic refrigerant mixture on performance of a hot water heat pump [J]. ASHRAE Trans,1998,104(1A):387-394.

[11] Granryd E. Hydrocarbons as refrigerants - an overview[J]. International Journal of Refrigeration,2000,24(1):15-24.

[12] Lallemand M, Branescu C, Haberschill P. Local heat transfer coefficients during boiling of R-22 and R407C in horizontal smooth and micro-fin tube[J]. International Journal of Refrigeration, 2000,24:57-72.

[13] Eckels S J, Tesene B A. A comparison of R-22, R-134a, R-410A, and R-407C condensation performance in smooth and enhanced tubes: Part I, heat transfer[J]. ASHRAE Trans, 1999,105(2):428-441.

[14] Johansson A, Lundqvist P. A method to estimate the circulated composition in refrigerant and heat pump systems using zeotropic refrigerant mixtures[J]. International Journal of Refrigeration,2000,24(8):798-808.

[15] Gabrielii C, Vamling L. Drop-in replacement of R-22 in heat pumps used for district heating- influence of equipment and property limitations[J]. International Journal of Refrigeration,2000,24(7):660-675.

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.