

两门直冷冰箱制冷系统运行分析

Refrigeration System Operation Analysis of Cold Refrigerator with Two Doors

刘雷¹ 方盛² 刘新² 黄家晟²
 (合肥美菱股份有限公司 合肥 230601)

摘要: 冰箱制冷系统运行时, 其状态参数是一个不断变化的过程。本文主要从两个方面对冰箱制冷系统进行验证分析: 一是研究在单个开停周期内冷凝温度、蒸发温度及过冷度等工况参数的变化规律; 二是研究不同制冷剂灌注量对冷凝温度、蒸发温度等工况参数的影响。研究分析的结果对冰箱产品开发与制冷性能优化匹配具有一定的指导意义。

关键词: 蒸发温度; 冷凝温度; 压焓图

Abstract: When refrigerator refrigeration system runs, its state parameter is a constant change process. In this paper, the refrigerator refrigeration system is analyzed in two aspects: the first is to study the change law of the working state parameters such as condensing temperature, evaporating temperature and supercooling degree in a single start stop cycle; the second is to study the influence of different refrigerant perfusion amount on the condensing temperature, evaporation temperature and other working state parameters. The results of research and analysis have certain guiding significance for the optimization and matching of refrigerator product development and refrigeration performance.

Key words: evaporating temperature; condensing temperature; lgp-h

引言

压缩机、冷凝器、毛细管、蒸发器是冰箱制冷系统四大核心部件。在冰箱的开发过程中, 四大部件技术参数确定后, 通过不断地试验与分析, 最终使整个制冷系统制冷剂灌注量趋向于合理。对于制冷设计师来说, 如何从冰箱的测试数据中分析并判断出制冷剂灌注量是否合适, 如何熟练掌握制冷系统运行工况并从其动态测试数据中分析并制定出改进方案, 这是冰箱性能匹配设计中的一个重要工作, 直接影响到冰箱的产品质量和成本的高低。

对此, 选择两门直冷BCD-181冰箱为研究载体, 通过相应的试验测试, 研究制冷系统运行工况的动态变化过程, 分析不同制冷剂灌注量对其性能的影响程度, 为以后的冰箱制冷系统的开发与制冷性能的优化匹配提供指导意见。

1 样机描述

1.1 测试冰箱参数

型号: BCD-181; 定频压缩机: D65CY1; 制冷剂: R600a; 产品类型: 两门直冷冰箱。

1.2 制冷系统简介及测试分析方法

在环境温度25℃的恒温室内, 冰箱按照国标要求空载测试。在压缩机排气端和回气端、过滤器以及蒸发器进出等重要位置布置有热电偶温度测试点, 同时在压缩机排气端安装有压力传感器。

如图1所示, 该产品采用蒸汽压缩式制冷系统, 冷凝管和冷凝器为高压冷凝散热部件, 冷藏蒸发器和冷冻蒸发器为低压蒸发吸热部件, 并有回热装置(回气管总成)。为方便分析研究, 假设冷凝部件和蒸发部件无降压损失, 无回热装置, 毛细管绝热节流降压。该理想状态下制冷系统工况运行状态如图2的压焓图所示: 1对

应回气温度，2对应排气温度，5对应过滤器温度，6对应毛细管出口端。

2 单个温控周期内制冷系统运行分析

从压缩机开启到下次压缩机开启，这一过程为一个温控周期。如图3中冰箱运行测试曲线所示，在此温控周期内制冷系统运行状态参数一直处于不断变化当中。制冷系统开始启动时，冷凝器内压力等于蒸发器内压力且较低，而毛细管流量在蒸发温度刚刚低于冷凝温度的初始段流量迅速上升；但因此刻冷凝压力不高，毛细管两端口压差较小，其流量低于压缩机流量，导致蒸发低侧制冷剂不断被压缩机送到冷凝高压侧，因此冷凝压力仍快速上升，蒸发压力快速下降，毛细管流量也在增加。如图4所示，压缩机启动后5 min以内制冷系统冷凝压力快速升高并很快达到峰值，蒸发温度也在快速下降。

而毛细管流量的增加一定程度后基本处于稳定状态，但仍小于压缩机流量。冷凝器内高压液态制冷剂逐渐增多，冷凝管道内压力上升到最大值后不再继续增加。同时随着蒸发压力的下降，吸气比容增大，压缩机流量随之下降。压缩机流量减小，则冷凝负荷降低，促使冷凝压力也随之下降。冷凝压力下降，促使蒸发压力进一步降低，压缩机流量进一步减小；压缩机流量减小，进而反促使冷凝压力降低。如此往复，直至毛细管流量和压缩机流量最终相等为止，系统将达到平衡，冷凝压力和蒸发压力不再变化。如图5所示，压缩机启动5 min后制冷系统冷凝压力达到峰值后逐渐降低，蒸发温度一直处于下降趋势，不过压力下降的趋势逐渐减弱。

3 制冷剂灌注量对制冷系统的影响

在冰箱性能匹配时，制冷剂加入量过多或

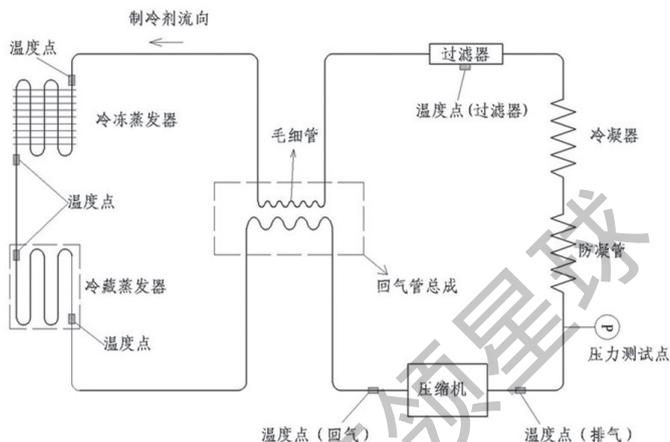


图1 制冷系统原理及测试温度布点图

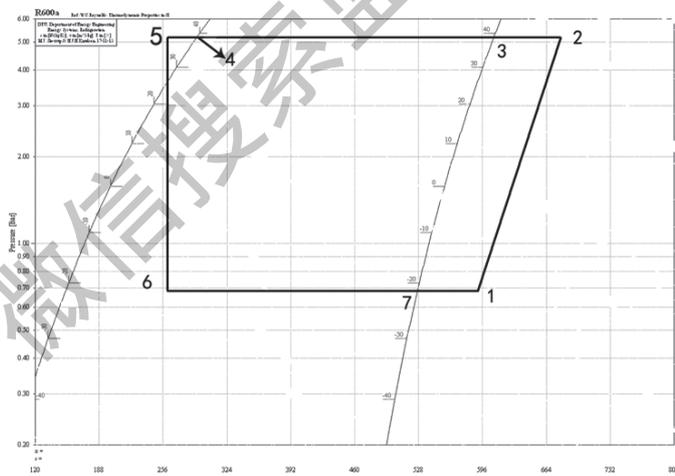


图2 压焓图

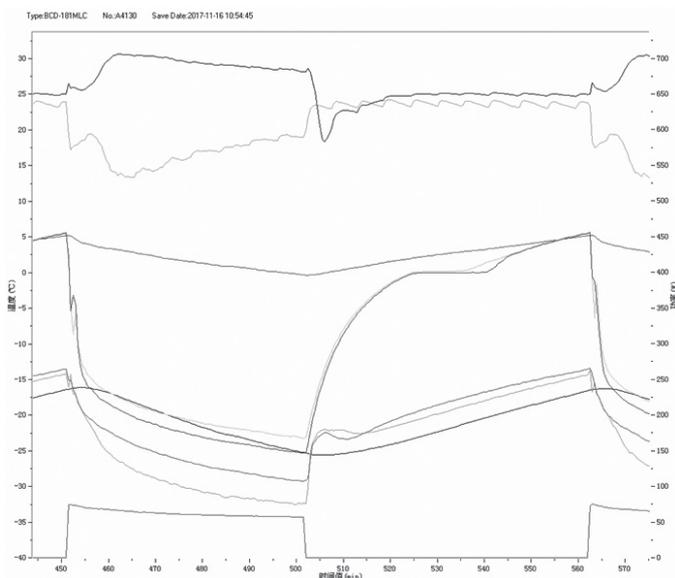


图3 冰箱运行测试曲线

表1 不同时间点制冷系统运行工况

时间	启动前	启动 1 min	启动 2 min	启动 5 min	启动 20 min	启动 40 min
功率 /W	0	72.5	73.8	68.7	62.4	57
回气温度 /°C	23.68	23.23	17.28	19.35	14.65	19.4
过滤器温度 /°C	25.05	25.08	26	26.18	29.85	28.3
排气温度 /°C	25.43	27.03	42.15	46.48	49.5	51.48
蒸发温度	/	-13.8	-14.92	-21.52	-29.15	-32.5
排气压力 /Pa	93.87	355.13	455.75	517.25	489.87	465
冷凝温度 /°C	/	25.19	33.98	38.66	36.63	34.72
过冷度 /°C	/	0.11	7.98	12.48	6.78	6.42
过热度 /°C	/	37.03	32.2	40.87	43.8	51.9

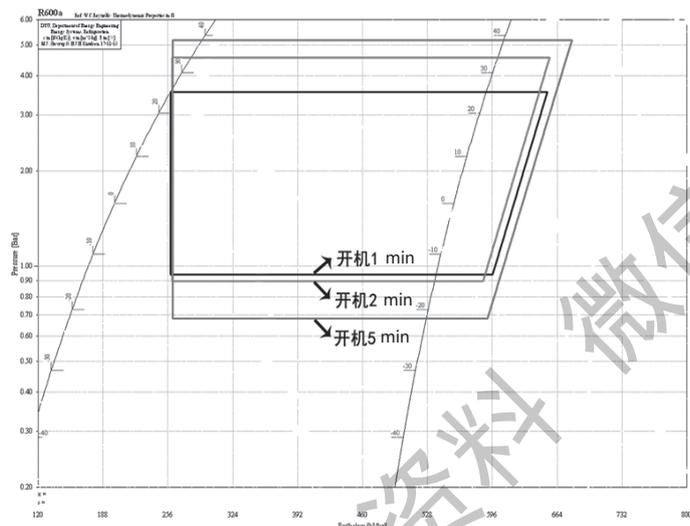


图4 压缩机启动后5分钟内系统工况变化

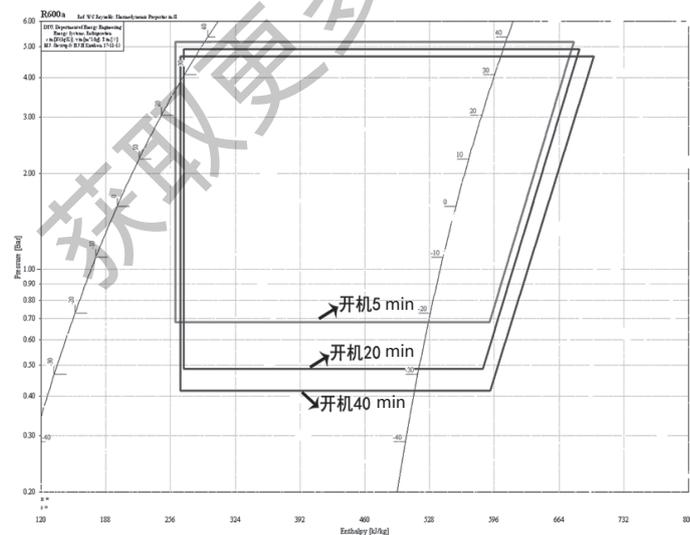


图5 压缩机启动5 min后系统工况变化

过少，对冰箱的运行都是不利的。制冷剂不足时，蒸发器未完全充满，蒸发压力降低。压缩机吸气过热度增加，因此蒸发器传热系数和制冷系统制冷量减少。另一方面制冷剂过多时，将导致冷凝器参与换热的有效面积减少，导致冷暖温度和压力增加，制冷系统制冷量下降，能耗增加。

为验证不同制冷剂灌注量对冰箱制冷性能的影响，特做如下试验：冰箱在强冷档位控制下，压缩机持续运行，直至稳定运行为止；记录在制冷剂5种灌注量情况下制冷系统稳态运行测试数据，见表2所列。

冰箱制冷剂灌注量是50 g时，制冷剂不足，蒸发器内管道空间未完全充满，蒸发压力很低，压缩机吸气比容较大，制冷剂流量偏小，制冷系统制冷量不足，其外在表现是冰箱冷冻室温度很低，而冷藏室温度偏高。究其原因制冷剂流量偏小，大部分液态制冷剂已在冷冻蒸发器内蒸发，而在制冷系统末端的冷藏蒸发器管道内主要是气态制冷剂；因气态制冷剂显热换热量小，故而导致冰箱冷藏室制冷效果差；又因蒸发温度很低，冷冻蒸发器内制冷剂充足，导致冷冻室温度过低，可达到-34℃左右。

随着制冷剂灌注量的增加，冰箱制冷系统

蒸发温度也随之升高。当制冷剂灌注量加到63 g时, 制冷系统运行状态基本可满足冰箱正常制冷需求。制冷剂灌注量继续增加, 如表2所示83 g, 则表现为制冷剂过多。蒸发器管道内充满液态制冷剂, 制冷剂蒸发不彻底, 蒸发压力偏高, 压缩机吸气比容较小, 制冷剂流量偏大。如图6中压焓图所示, 83 g与63 g制冷剂灌注量对比, 冷凝温度和蒸发温度均大幅升高, Δh 值缩小, 制冷效果降低。表2数据中也可以作出印证, 在83 g制冷剂灌注量时冷藏温度和冷冻温度均比在63 g制冷剂灌注量时高出许多。同时制冷剂过多也会带来其它问题: 一是压

缩机运行功率增加很多, 对冰箱降耗提效不利; 二是制冷剂蒸发不彻底, 回气管道中可能存在液态制冷剂, 增加压缩机液击损坏的风险, 对冰箱品质不利。

4 总结

对于一个制冷设计师来说, 了解和掌握制冷系统运行规律, 准确调试制冷剂灌注量, 是制冷匹配的前提和基础。本文所介绍的制冷分析方法虽是在诸多假设前提下的理论分析叙述, 并未包含两器管道阻力、回热装置等因素的影响, 但对冰箱产品开发与制冷性能优化匹配具有一定的指导意义。冰箱制冷系统匹配虽是一个复杂的过程, 受很多因素影响, 若能做到去繁从简, 理论结合实际, 再加上正确分析判断, 完成工作也会游刃有余。

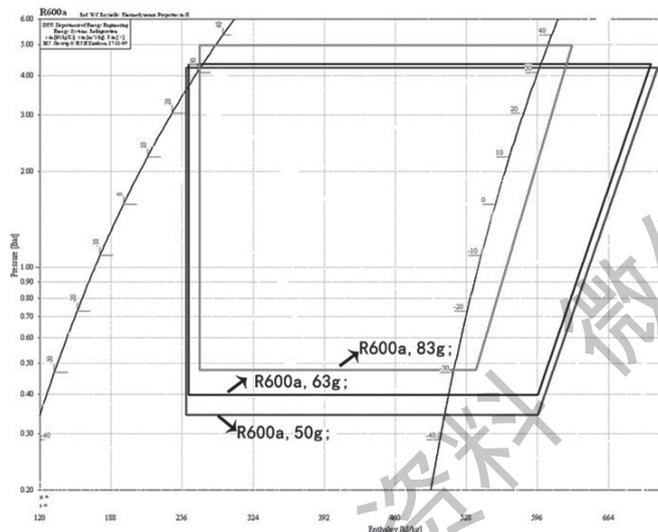


图6 三种灌注量下制冷系统工况对比

表2 不同R600a灌注量下制冷稳态工况

R600a 灌注量 /g	50	58	63	79	83
功率 /W	47.1	49.6	50.7	58.7	64.6
冷藏室温度 /°C	8.20	-2.45	-8.26	-3.46	-3.12
冷冻室温度 /°C	-34.14	-32.16	-31.29	-26.99	-24.05
回气温度 /°C	21.9	21.6	22.08	-10.95	-15.25
过滤器温度 /°C	25.68	26.03	26.8	28.98	30.88
蒸发温度 /°C	-36.45	-34.45	-33.42	-31.95	-29.60
冷凝温度 /°C	31.20	31.62	32.14	33.19	37.24
蒸发压力 /Pa	34.37	37.90	39.82	42.70	47.65
冷凝压力 /Pa	421.87	426.88	433.13	445.87	498.00
压差 /Pa	387.50	388.98	393.31	403.17	450.35
过冷度 /°C	5.52	5.59	5.34	4.21	6.36
过热度 /°C	58.35	56.05	55.50	21.00	14.35
压缩比	12.27	11.26	10.88	10.44	10.45

参考文献:

- [1] 林朝光, 陈则韶, 胡芃. 冰箱毛细管内流动特性的研究 [J]. 流体机械, 2000, 28(10):42-46.
- [2] 吴业正. 小型制冷装载设计指导 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.