

制冷系统材料兼容性试验方法及装置研究

蔡宁, 杨双, 吴晓丽, 徐华保

(中家院(北京)检测认证有限公司, 北京, 100176)

摘要: 兼容性试验装置主要应用于制冷系统材料与制冷剂/油的兼容性测试, 对于考核系统的可靠性及安全性具有至关重要的作用。特别是可燃制冷剂以低 ODP 和 GWP 值被作为替代制冷剂得到了业内高度认可, 兼容性测试的开展将为其推广奠定良好的基础。

关键词: 制冷系统; 可燃制冷剂; 兼容性测试

RESEARCH OF COMPATIBILITY TEST METHOD AND EQUIPMENT OF REFRIGERATING SYSTEM MATERIALS

Cai Ning, Yang Shuang, Wu Xiaoli, Xu Huabao

(CHEARI (Beijing) Certification & Testing CO.,Ltd, Beijing, 100176)

Abstract Compatibility test equipment is mainly used for the compatibility test of refrigerating system materials with refrigerant/lubricant, which plays an important role in system reliability and safety. Particularly, flammable refrigerant with low GWP and ODP is highly recognized by the industry as alternative refrigerant, so compatibility test will lay a good foundation for the promotion.

Key Words refrigerating system; flammable refrigerant; compatibility test

0 前言

由于制冷系统中制冷剂/冷冻机油与材料的兼容性直接影响系统的可靠性和安全性, 在可燃制冷剂作为替代工质得到业内高度认可的背景下, 开展材料兼容性测试特别是压缩机漆包线、绑扎线等材料与新工质的兼容性测试, 对于保证冰箱和空调等制冷器具整机性能具有至关重要的作用^{[1][2]}。IEC 60335-2-34 最新修订版 5.2 版中新增了附录 BB 和附录 CC 两个章节, 特别规定了绕组线绝缘兼容性试验以及绑扎带和绝缘的兼容性测试的相关要求及测试条件^[3]。ISO 14903 中也对制冷和热泵系统中密封材料的兼容性测试提出了明确的要求和测试方法^[4]。

1 装置介绍

试验装置主要由压力容器、恒温油槽、测试环境间、测控系统以及辅助测试工具等部分组成, 可为兼容性测试提供稳定可靠的环境条件和测试手段。

(1) 压力容器

试验所需的测试容器需要能够承受高温和高压, 并且与各种制冷剂和冷冻机油具有良好的兼容性, 容器本体材料采用不锈钢材质, 耐热性能达到 200℃ 以上。压力容器配置有温度压力测量接口(其中压力部分包括压力传感器、指针式压力表)、抽空及制冷剂/冷冻机油充注口、泄压控压装置等。容器结构尺寸需要考虑测试需要, 特别是样品大小、数量、与恒温油槽的匹配等因素。此外, 标准要求试验开始前需要将容器内抽空至 100μ m 汞柱高或以下, 因此需要考虑容器的密封问题, 密封材料需要耐高温, 同时满足与制冷剂/冷冻机油的相容性, 保证试验过程中不会因为腐蚀等造成油剂液的污染以及罐内压力变化导致试验结果的不可靠。压力容器如图 1 所示。

(2) 恒温油槽

在测试过程中，需要对测试样品进行规定时间和温度下的周期性测试，考虑样品不可直接与热源接触，因此设计将压力容器置于恒温油槽内进行加热。油槽内设置有制冷和加热组件，能够根据测试需要调整测试温度，自动化程度高。导热介质采用硅油，闪点在 350°C ，较好的解决了高温加热可能产生的油烟及自燃问题，安全系数较高。恒温油槽结构如图 2 所示，右侧上端为测试部位，压力容器置于盖板开孔处。左侧蓝色部分为控制面板，可进行启动、急停、温度设定等操作。



图 1 压力容器



图 2 恒温油槽

(3) 测试环境间

测试环境间可根据使用需要建设，如果有散热较好的场地条件，能够满足新风及排烟等条件，则可以不考虑。测试环境间主要应对恒温油槽的散热、可燃制冷剂的泄露等问题。

1) 散热问题：油槽采用风冷制冷机组，降温启动时风冷外机将对环境间散热，此外，油槽在加热过程中也会对房间散热，为保证试验间内温度的稳定性，配置有温度可调的空气处理机组，能够保证测试过程中室内温度的稳定。

2) 泄露问题：室内配备气体报警装置，主要考虑 R290、R600a、R32 等可燃制冷剂在泄露发生时的报警提示及动作保护；设置有新风、排风以及泄压系统，能够保证试验过程、泄露发生时的保护性动作，保证人员安全、减少对周边环境的危害。

此外，为防止静电影响，环境间地面铺设防静电胶垫，门口设置有静电消除装置。

(4) 测控系统

测控系统主要由温度传感器、压力变送器、数据采集器、计算机、测试软件等部分组成，测试软件可对测试数据进行实时采集和存储。

所有的测试元器件在投入使用前都需要进行计量，其中包括温度测量元件、压力测量元件、数据采集器等，保证测试过程中数据的准确性。另外，设备安装就位正式运行前，需要进行试运转，运转无误后方可正式投入运行。

2 试验说明

制冷系统中涉及到兼容性试验要求的材料主要包括电动机上的绕组、槽绝缘、绑扎线、引出线、接插件以及用于密封的橡胶和热塑性材料等，本节以绕组线绝缘兼容性试验为例进行说明。

(1) 测试样品的制备

每次试验需要准备两组样品（每组 6 个代表性样品）进行对比试验，漆包线按照 GB/T 4074.5-2008 的 4.4.1 的要求准备。两组样品分别为不接触制冷剂和润滑油，接触制冷剂和润滑油，测试的项目内容如表 1 所示。

表 1 样品测试项目

| 序号 | 样品组别 | 测试项目 |
|----|------------|---|
| 1 | 不接触制冷剂和润滑油 | 电气强度试验：施加电压为电动机-压缩机最大工作电压的 125%，但是不应少于 500V |

- 2 接触制冷剂和润滑油
- 1) 真空加热：样品置于压力容器内，密封后抽空到 100 μm 汞柱高或以下，并且加热到不低于 150 $^{\circ}\text{C}$ 保持至少一个小时；
 - 2) 注入润滑油抽空加热：容器内注入润滑油，重复 1) 中的密封、抽空、加热过程；
 - 3) 注入制冷剂周期性加热：容器内注入满足压力要求的制冷剂蒸气量，根据制造商确定的时间-温度加热周期进行试验；
 - 4) 电气强度试验：施加电压为电动机-压缩机最大工作电压的 100%。

样品在制备过程中需要进行编号，记录关键信息，并对样品拍照存档，以确保试验前后数据结果与样品的一致性对应关系。

(2) 测试容器中制冷剂充注量的确定

IEC 60335-2-34 中要求任意制冷剂蒸汽的压强可以是 1.0 MPa 到 2.4 MPa 之间任意一个方便的值，但对于超临界制冷剂 R774，其压强应不低于 7.3 MPa。在此处试验操作时制冷剂蒸气压力由于充注过程中受到温度及压力波动的不稳定性影响而无法作为可精确测量的直接测量量，因此考虑采用理想气体状态方程 ($PV = mRT/M$) 计算制冷剂充注量来保证标准中对压力范围的要求。其中 R 为气体常量，取值 8314 Pa·L/mol·K。容积 V 的确定需要考虑压力容器内部有效容积除去样品以及充注的冷冻机油所占空间之后制冷剂的最大充注容积。常用制冷剂摩尔质量 M 如表 2 所示。

表 2 制冷剂摩尔质量

| 序号 | 制冷剂 | 摩尔质量 (g/mol) |
|----|-------|--------------|
| 1 | R22 | 86.5 |
| 2 | R134a | 102 |
| 3 | R404A | 97.6 |
| 4 | R407A | 86.2 |
| 5 | R407C | 86.17 |
| 6 | R410A | 72.6 |
| 7 | R290 | 44.1 |
| 8 | R507 | 98.86 |
| 9 | R600a | 58.1 |
| 10 | R32 | 52 |
| 11 | R744 | 44 |

(3) 时间-温度加热周期

对于绕组线绝缘兼容性试验，测试样品应由制造商按照 IEC 60335-2-34 表 BB.1 规定的时间温度周期进行选择确定。以加热温度 140 $^{\circ}\text{C}$ 为例，理论的周期曲线如图 3 所示，加热时间划分为 5 个相等的加热周期，每个加热周期之后跟随一个不加热周期，不加热周期需在 25 $^{\circ}\text{C}$ 左右持续约为 48h。试验开始至结束总时长约为 1680h。

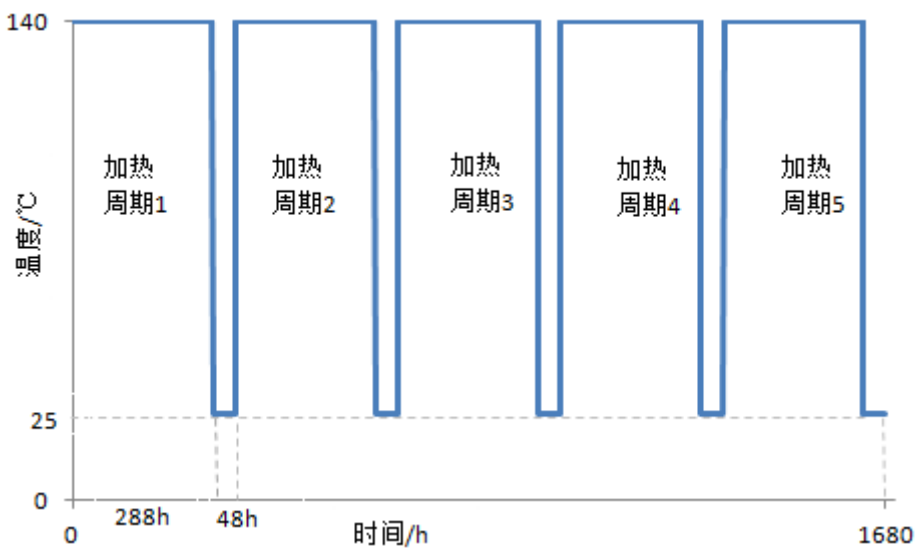


图 3 时间-温度加热周期

不加热周期有两种操作方式：第一种是采用恒温油槽直接降温，第二种是将压力容器从油槽取出，置于环境温度为 25 $^{\circ}\text{C}$ 的试验间内。第一种方式无需人为操作，整个温度周期

由系统自动控制，但是升降温过程受到系统配置的影响，周期将略长，而且要求油槽内所有测试压力容器同步进行试验。第二种方式需要人员根据测试周期情况将压力容器取出和放回，但是样品的测试灵活性相对较大，只要测试温度一致即可，周期时间不受影响。两种方式的选择可根据试验具体情况来确定。

(4) 加热温度的确定

根据标准要求，测试温度条件 140℃应该是压力容器内的介质温度。而实际控制参数为恒温油槽内导热油的温度，由于传感器安装位置、传热温差等因素的影响，控制温度与压力容器内的温度存在一定偏差。经试验发现，恒温油槽的温度设定在 145℃时，能够保证压力容器内部温度稳定在略大于 140℃的数值。需要注意的是，试验过程中，压力容器内部的最低温度为 140℃，可以略高，但是不能偏低。针对温差问题，可以通过多次试验得出经验数据进行如下处理：1) 直接修正恒温油槽的测量温度，每个加热温度的偏差值不尽相同，需要根据温度设定值来进行确定；2) 调整恒温油槽的设定温度，将测试需要的温度值加上温度偏差进行设定。

(5) 压力容器操作注意事项

压力容器在进行抽空、充注制冷剂/冷冻机油、密封、开罐等操作时，需要采取固定措施，以防止容器倾倒引起破裂或元器件的损坏。特别是在加热周期完成之后取出样品时，如果容器发生倾倒，内部油剂混合液将溢出，测试样品也可能从容器内逃出，造成样品污染和损坏，增加测试结果的不确定性。

如果加热周期完成之后或者加热过程中压力容器需从恒温油槽中取出来，由于油槽内温度较高，取出过程中需要佩戴手套并采取相应的安全防护，防止烫伤。

样品从压力容器取出前需先对压力容器进行泄压处理，将内部蒸气排出直至容器内压力达到大气压。放气过程需要在开放的环境中进行，禁止在人员操作区放气。

3 结论

本文对制冷系统材料与制冷剂/冷冻机油的兼容性装置进行了介绍和描述，该装置能够满足相关标准的要求，操作性强，具有较好的推广应用价值。以绕组线绝缘兼容性试验为例对操作进行了解释，阐述了试验过程中存在的问题及注意事项，为兼容性试验的开展提供了技术性指导。

参考文献

- [1] 绿色环保型制冷压缩机用漆包线的要求和试验方法[J]. 张玉章. 电工材料. 2005(03)
- [2] 绿色环保型制冷压缩机用漆包线兼容性试验方法的研究[J]. 王朝霞. 中国金属通报. 2014
- [3] Household and similar electrical appliances-safety-Part 2-34:Particular requirements for motor-compressor, IEC 60335-2-34-2016[S]
- [4] Refrigerating systems and heat pumps-Quilification of tightness of components an joints, ISO 14903-2017[S]