

地铁车辆司机室空调机组低压故障分析及解决方案

张 顺 付细群

(中车南京浦镇车辆有限公司,210031,南京//第一作者,高级工程师)

摘 要 针对上海轨道交通 13 号线司机室空调机组低压故障原因进行分析,并将故障件返厂测试、装车运行测试后,对所有分析的可能原因进行逐一排查,最终锁定影响司机室空调机组低压故障的主因,并针对主因提出解决措施。通过对硬件与软件的优化,整改后司机室空调机组运行状态良好,优化效果显著。

关键词 地铁车辆;空调机组;低压故障;软件更新

中图分类号 U270.38*3

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.01.032

Analysis and Solution of Air-conditioning Unit Low-voltage Fault of Metro Vehicle Driver Cabin

ZHANG Shun, FU Xiqun

Abstract The causes of low-voltage faults in the air-conditioning unit of the drive cabin of Shanghai Rail Transit Line 13 are analyzed, and the faulty parts are returned to factory for tests and loading operation tests. Possible causes of all the analysis are checked one by one, and finally the main reason of low-voltage faults in the driver cabin air-conditioning unit is fixed upon, and corresponding solutions are proposed. Through optimization of hardware and software, the rectified driver cabin air conditioning unit is in good operating condition, and the optimization effect is remarkable.

Key words metro vehicle; air conditioning unit; low voltage fault; software update

Author's address CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

上海轨道交通 13 号线车辆空调系统主要由空调机组、排气设备与空调控制装置等构成。与客室空调机组相同,司机室空调机组由压缩机、蒸发器、蒸发送风风机、冷凝器、冷凝风机、膨胀阀及相关附件等组成^[1]。压缩机采用卧式全封闭涡旋式压缩机,每个全封闭的制冷设备内,配有高、低压压力开关以保护压缩机,采用环保型 R407C 制冷剂,以外平衡热力膨胀阀为节流元件。每台司机室空调机组有 1 套独立的制冷循环设备,可根据车内热负荷大小自动调节室内温度和湿度,实现制冷调节。每台机

组有独立的控制装置。它根据司机室内及室外的温度等情况,通过控制各风机的启停、各风门的开度大小来实现对制冷量的调控。上海轨道交通 13 号线车辆空调系统自 2012 年 12 月份运营以来运行状态良好,给乘客提供了舒适的乘坐环境,但自 2015 年以来司机室空调机组不间断地出现低压故障,影响了运营时司机驾驶环境的舒适性,也给车辆检修带来一定的压力。

1 空调机组故障描述

自 2015 年 6 月至 2017 年 11 月,上海轨道交通 13 号线司机室空调机组多次发生压缩机低压故障,2015 年、2016 年、2017 年各发生低压故障 8、6、10 次。所谓低压故障即低压开关断开值为 $(0.19 \pm 0.05) \text{MPa}$ 。

司机室空调出现低压故障时,在故障记录仪中将记录“Compr_low_pres_cab 司机室空调低压”故障条目。该条目包含故障车号、故障发生时间、故障消失时间。空调控制软件的控制逻辑为 15 min 内机组低压故障次数累计超过 3 次时,将锁死故障并在司机显示屏上显示空调低压故障;如果空调控制接线无误、通风制冷正常,故障将自动消失。

2 空调机组低压故障原因分析

由于不同外界环境对车内空气温度的要求不同,上海轨道交通 13 号线司机室空调机组以国际铁路联盟 UIC 553 标准的要求进行自动控制,制冷执行 UIC 553 曲线目标温度 T_u 值:

$$T_0 < 19^\circ\text{C} \text{ 时, } T_u = 22^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$T_0 \geq 19^\circ\text{C} \text{ 时, } T_u = (T - 19^\circ\text{C})/4 + 22^\circ\text{C} \quad (2)$$

式中:

T_0 ——室内实际温度;

T ——外界温度;

T_u ——室内目标温度^[2]。

根据业内大量的故障统计,空调机组出现低压

故障率较高的主要原因有 5 个:① 制冷系统有泄漏导致制冷剂不足;② 送风风量过小;③ 新风温度或回风温度过低;④ 送风与回风短路;⑤ 回风温度传感器读数与实际回风温度相比偏高。为此从上述 5 个原因进行逐一排查和分析。

2.1 空调机组返厂测试分析

为尽快找到故障原因,选择 4 台司机室故障空调返原厂测试。故障件返厂后,对机组的制冷剂泄漏进行外观检查,对空调机组的运行状况进行测试。

如图 1 所示,司机室空调机制冷原理为:正常制冷模式下,压缩机排出的高温冷媒被分配到冷凝器中散热,冷凝液体从冷凝器中流出后经干燥过滤器,然后进入节流装置(热力膨胀阀)进行节流降压;节流降温后的冷媒分配到蒸发盘管中吸热,过热的冷媒气体流出蒸发器再汇集到压缩机吸气管,回到压缩机再进行压缩循环。

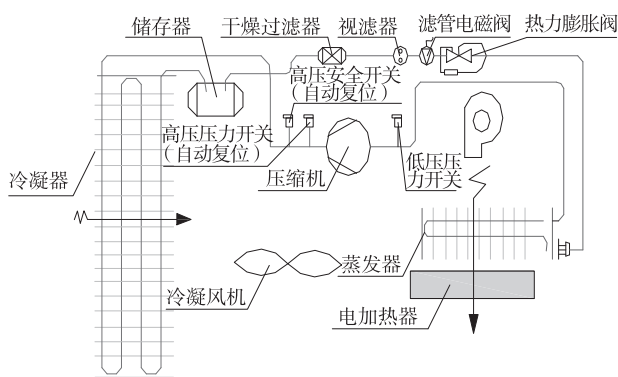


图 1 司机室空调机组制冷原理图

2.1.1 制冷剂泄漏检查

当气体从空调压缩机总吸气管分出而流向压力开关时,由于制冷剂泄漏、环境温度过低等原因造成压缩机吸气压力过低,压力开关将断开压缩机工作电路令其停止。当压力上升时,压力开关自动复位。如果制冷剂泄漏会渗出冷冻油,一旦发现管路某处有油渍,可用白布擦拭或用手直接触摸检查,并做进一步确认。根据上述方法进行详细的外观检查,而实际检查过程中并没有发现有制冷剂泄漏现象。

2.1.2 空调机组运行参数测试

检测司机室空调机组运行压力等参数均正常,测试数据基本一致。表 1 为其中一台机组的返厂测试数据。

从返厂测试记录看,机组自身运行正常,低压压力值在 0.40 MPa,远高于动作值(0.19 ± 0.05)MPa。这说明出现低压故障的原因不在制冷系统本身,可

表 1 空调机组返厂测试数据

| 环境温度/℃ | 回风温度/℃ | 出风温度/℃ | 低压值/MPa | 高压值/MPa | 压缩机运行三相电流值/A |
|--------|--------|--------|---------|---------|----------------|
| 30 | 28 | 20 | 0.49 | 1.6 | 2.86/2.96/2.64 |
| 29 | 27 | 19 | 0.50 | 1.6 | 2.85/2.99/2.66 |
| 25 | 22 | 17 | 0.40 | 1.5 | 2.72/2.76/2.47 |
| 31 | 26 | 19 | 0.48 | 1.7 | 2.90/3.02/2.73 |

能为运营时的外界条件造成,如温度、操作习惯等。

2.2 装车运行测试分析

故障的空调机组经返厂测试后又装车运行,发现送风风量过小、新风温度或回风温度过低、送风与回风短路、回风温度传感器读数偏高 4 种因素仍会对空调机组运行压力造成影响,从而出现偶发的低压故障。

2.2.1 送风风量过小

送风风量过小会影响蒸发器侧的换热,造成压缩机吸气压力越来越低,直至低压开关动作,低压故障出现。司机室送风格栅分左右两部分(机械互锁,不会出现同时关闭的现象),可以手动调节。现场检查发现,由于司机对舒适性的要求,开度都非常小。司机室通风机风速选择不统一,高低速均有。

司机室空调机组送风风量设计参数:高速档为(750 ± 100)m³/h,低速档为 500 m³/h。通过对送风格栅各状态下的高、低速档位送风量的测量,未发现送风风量小于设计要求的现象(见表 2)。

表 2 司机室送风风量测试结果

| 送风格栅开度/% | | 高速档风量/(m³/h) | 低速档风量/(m³/h) |
|----------|-----|--------------|--------------|
| 左送风 | 右送风 | | |
| 100 | 100 | 815 | 650 |
| 50 | 50 | 790 | 630 |
| 100 | 0 | 850 | 680 |
| 50 | 0 | 780 | 650 |
| 25 | 0 | 750 | 600 |
| 25 | 25 | 710 | 540 |
| 0 | 25 | 760 | 610 |

通过对送风风量的测量,可以排除送风风量不足。因此,司机室低压故障应为其他因素造成。

2.2.2 新风温度或回风温度过低

如果新风温度或回风温度过低,将会造成蒸发器前端混合风温度较低,影响蒸发器侧的换热,造成压缩机吸气压力越来越低,直至低压开关动作、低压故障出现。为了减轻新风温度或回风温度过低对制冷运行的影响,尝试对司机室软件进行了优化升级:新风温度 ≥ 35 ℃ 时,司机室制冷目标温度最低限制为 21 ℃;新风温度 < 35 ℃ 时,司机室制冷目标温度

最低限制为 23℃。

软件修改后故障仍未彻底消除。所以,新风或回风温度过低并非造成低压故障的唯一因素。

2.2.3 送风与回风短路

通过对司机室空调送风与回风口的检查,发现送风口与回风口距离很近;通过对司机操作习惯的观察,发现司机对送风格栅的开度和朝向、目标温度设定和风速设定没有统一标准。实际运营极有可能在以下工况下工作:司机室空调目标温度设定为 21℃,风速设定为低速。如图 2 所示将右侧送风格栅(朝向司机)全关,通过调整左侧新风格栅开度,

对送风温度和回风温度进行测量,7个测点的测量结果如表 3 所示。

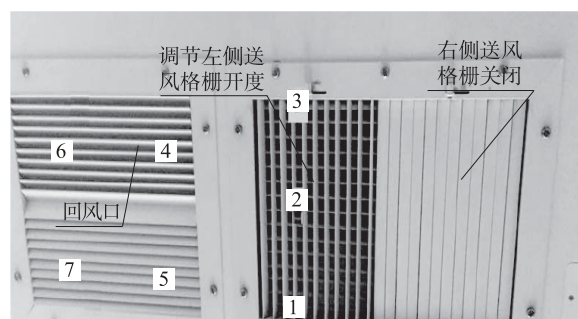


图 2 送风、回风温度测点布置图

表 3 左侧送风格栅开度不同时送风与回风温度测量值

| 左侧送风格栅开度/% | 模式 | 送风温度/℃ | | | | | | | 回风温度的均匀性 |
|------------|----|--------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | | 测点 1 | 测点 2 | 测点 3 | 测点 4 | 测点 5 | 测点 6 | 测点 7 | |
| 25 | 制冷 | 15.3 | 15.2 | 15.0 | 19.2 | 20.6 | 20.5 | 22.9 | 不均匀 |
| 25 | 制冷 | 15.2 | 14.9 | 14.5 | 18.4 | 19.0 | 19.1 | 23.6 | 不均匀 |
| 25 | 制冷 | 14.1 | 13.9 | 13.5 | 20.1 | 20.6 | 19.7 | 23.1 | 不均匀 |
| 100 | 制冷 | 15.9 | 15.6 | 15.2 | 22.1 | 22.2 | 22.1 | 22.9 | 较均匀 |
| 100 | 制冷 | 16.0 | 15.9 | 15.6 | 23.1 | 23.1 | 23.0 | 23.4 | 较均匀 |

注:新风温度为 43.3℃;测试列车号为 1321,车辆为带司机室的拖车。

从表 3 可以得出如下结论:

1) 送风格栅开度为 25%时,回风口温度不均匀;其中测点 7 温度较高,测点 4、5、6 温度受送风温度影响而温度偏低,此时出现了送风与回风短路的现象。

2) 送风格栅开度为 100%时,回风口温度均匀,回风温度基本不受送风温度影响,不会出现送风与回风短路的现象。

2.2.4 回风温度传感器读数偏高

司机室空调温度控制逻辑要求“司机室温度低于设定目标温度时空调停机”,但实际使用中如存在以下情况时,制冷仍会运行:

1) 压缩机启动后为保护压缩机,即使室内温度低于目标温度,压缩机仍会在 3 min 内继续运行;

2) 回风温度传感器读取数值高于回风口实际温度时,参与制冷控制的回风温度值采用回风温度传感器的数值也会造成压缩机的继续运行。

测试选取上海轨道交通 13 号线 1302 号列车 TC2 车进行测试。回风温度传感器读取回风温度值与回风口测试温度值相比偏高:左侧送风格栅开度 25%时,回风温度值的读数偏高约 1.0℃;左侧送风格栅开度 100%时,读数偏高约 2.0℃。

回风温度传感器测试值偏高,可能与回风风道和传感器的位置布置有关。由于设计已经成型且车

辆运营多年,风道与传感器均无法变更。故可通过软件对回风温度进行修正处理。

2.3 分析总结

根据上述测试分析,新风温度或回风温度过低,将导致蒸发器表面结霜影响蒸发器侧换热效率,造成压缩机吸气压力偏低,从而发生报压缩机低压故障;送风口与回风口车内布置距离近,加上司机的操作习惯易造成送风口与回风口气流短路;回风传感器一般是安装在接近空调机组的回风风道上,而回风风道结构与布置的不同、传感器布置位置的不同都可能导致回风温度传感器读数偏高。

3 处理措施及实施效果

3.1 新风温度或回风温度过低

针对新风温度或回风温度过低,可通过软件进行优化:即当新风温度 $\geq 35^\circ\text{C}$ 时,司机室制冷目标温度最低限制取为 21℃;新风温度 $< 35^\circ\text{C}$ 时,司机室制冷目标温度最低限制取为 23℃。

3.2 送风与回风短路

司机室左侧送风格栅开度较小时,低温的送风直接进入回风口,影响蒸发器侧的换热,会造成压缩机吸气压力越来越低,直至低压开关动作、低压故障出现。应调整送风格栅,左侧送风格栅可加装止档以禁止朝向回风口,从而避免送风与回风短路。

3.3 回风温度传感器读数偏高

压缩机实际运行工况低于设定工况,蒸发器换热不充分,造成压缩机吸气压力越来越低,直至低压开关动作、低压故障出现。针对此故障通过软件修正回风温度传感器读取的数值,将回风温度传感器读取数值减去 2℃作为实际值参与控制。

针对上海轨道交通 13 号线司机室空调机组的低压故障,从上述 3 个方面进行了整改,自 2018 年 2 月整改完成至今未出现一起同类故障,运营实际验证了整改方案完全符合要求。

4 结语

在车辆空调系统的实际运用过程中,出现的故障不仅仅局限于空调机组的低压故障,还存在不出风、风量小、通风机不工作、噪声大、漏水等故障。地铁车辆在空调系统设计时应充分考虑实际应用过程可能遇到的各种情况,采用成熟可靠的方案,来避免

由于设计问题引起各类故障,并应充分考虑空调系统不会由于个别小故障而影响车厢内的舒适性,同时应保证空调机组的可维护性强、软件使用方便^[3]。地铁公司检修部门也需通过对各类故障的分析总结,针对不同类型的故障采取相应的处理,对各类检修规程进行修订使之完善,强化对各类常发故障部件的预防检查措施,加强对空调机组的日常维修保养及定期保养。只有通过一系列举措的实施,才能有效地降低空调系统的故障率及维修成本。

参考文献

- [1] 中国中车浦镇公司.上海市轨道交通 13 号线项目车辆技术规格书[R].南京:中车浦镇车辆有限公司,2013.
- [2] 罗铁军.地铁列车空调常见故障分析与对策[J].现代物业·新建设,2014(4):39.
- [3] 刘国良.广州地铁列车空调系统设计差异分析[J].机车电传动,2007(3):53.

(收稿日期:2019-02-26)

(上接第 115 页)

5 结论

1) 通过模态分析可确定简支箱梁的一阶竖弯模态为设置的 MTMD 的受控模态,受控频率为 5.960 Hz。

2) 在设置 TMD 质量相同的情况下,MTMD 的制振效果优于单个 TMD。但发现设置 4 个与 6 个 TMD 的制振性能差异不明显,可以认为 4 个 TMD 效果最优。

3) 质量、刚度参数灵敏度分析结果显示,MTMD 制振稳定性较单个 TMD 差,设置个数越多则越明显。

4) 阻尼参数灵敏度分析结果显示,MTMD 在阻尼系数发生变动的情况下,谐响应幅值较单个 TMD 变动要小,随设置 TMD 个数的增加,制振稳定性增强。

参考文献

- [1] 李小珍,杨得旺,郑净,等.轨道交通桥梁减振降噪研究进展[J].中国公路学报,2018(7):55.
- [2] PERSSON W K, RYLANDER R. The prevalence of annoyance

and effects after long-term exposure to low-frequency noise[J]. Journal of Sound and Vibration, 2001(3):483.

- [3] WAYE K P. Effects of low frequency noise and vibrations: environmental and occupational perspectives [J]. Encyclopedia of Environmental Health, 2011, 4(7):240.
- [4] CHEN Y H, CHEN D S. Timoshenko beam with tuned mass damper to moving loads [J]. Journal of Bridge Engineering, 2004, 9(2):167.
- [5] 肖新标,沈火明.移动荷载作用下的桥梁振动及其 TMD 控制[J].振动与冲击,2005(2):58.
- [6] 王浩,刘海红,陶天友,等.TMD 对列车作用下大跨钢桁架桥的振动控制研究[J].振动工程学报,2014(3):385.
- [7] 顾萍,王森,吴定俊.TMD 抑制既有铁路钢桁架桥横向振动研究[J].铁道学报,2005(2):85.
- [8] 背户一登.动力吸振器及其应用[M].任明章,译.北京:机械工业出版社,2013.
- [9] 汪振国,雷晓燕,罗锐,等.桥梁结构振动试验相似模型的设计及校验[J].振动与冲击,2018(7):220.
- [10] 江凌.TMD 和 MTMD 在拱桥振动控制中的应用[D].重庆:重庆交通大学,2008.
- [11] 张迅,李小珍,刘全民,等. MTMDs 控制高速铁路简支箱梁桥车致振动噪声的研究[J].振动与冲击,2013(13):194.

(收稿日期:2019-04-07)