

城市轨道交通

地铁广佛线空调压缩机低压故障
调查分析及解决方案

丰茂圣

(广州市地下铁道总公司 运营事业总部,
广东 广州 510000)

摘 要: 针对地铁广佛线列车频繁出现空调压缩机低压故障, 通过对故障数据分析、硬件功能测试、压缩机电流检测等多方面入手调查, 最终确定具体的故障原因, 更新了空调软件, 效果显著。

关键词: 地铁广佛线; 列车空调; 压缩机; 低压故障; 软件更新

中图分类号: U231; U270.38⁺3 文献标识码: B
文章编号: 1000-128X(2015)01-0068-03
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2015.01.019

1 概述

地铁广佛线车辆配套 DL37 型空调机组。空调机组的压缩机是日立卧式全封闭涡旋式压缩机, 每个全封闭的制冷系统内, 配有高、低压保护开关以保护压缩机, 采用环保型 R407C 制冷剂, 以毛细管为节流元件。每台机组具有 2 个独立的制冷循环系统, 可根据车内负荷大小进行控制, 实现制冷调节。空调机组配用独立的电气控制柜, 可实现手动控制、自动控制和集中控制。

地铁广佛线空调系统自 2010 年 10 月份投入运用以来运行状态良好, 给乘客提供了舒适的乘坐环境, 但 2012 年初突然大面积出现空调黄点的故障, 给正线运营服务质量带来很大影响, 也给车辆检修带来较大的压力。

2 故障现象

自 2011 年 12 月至 2012 年 2 月初, 地铁广佛线空调机组多次发生压缩机低压故障, 具体见表 1。

表 1 空调压缩机低压故障统计

时间	2011 年 12 月	2012 年 1 月	2012 年 2 月	2012 年 3 月
压缩机低压故障数量 / 起	6	37	16	0

根据广佛线列车空调控制软件的设计, 如 15 min 内机组低压故障次数累计超过 3 次时, 将锁死故障并显示故障。出现故障时, 列车 HMI (车辆显示屏) 上显示空调黄点, 空调机组控制屏的 PLC 上显示空调机组某个“压缩机低压故障”, 如图 1 所示。检查空调

柜相关接线正常, 通风制冷正常, 对空调机组进行复位后黄点消失。



图 1 故障时 PLC 故障数据

3 问题分析及故障查找

3.1 问题分析

根据不同外界环境下对客室空气温度的要求不同, 广佛线列车的空调通常以 UIC553 标准的要求来自动进行控制, 制冷执行 UIC553 曲线目标温度值即 T_u 值: $T_u=(\text{外温}-19)\div4+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。空调机组压缩机启动条件如下:

- a. 客室温度 $T_0\geq T+1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 客室制冷目标温度 $T_u=(T-19\text{ }^{\circ}\text{C})/4+22\text{ }^{\circ}\text{C}$, T 为外界温度;
- b. $T_0\geq 19\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T\geq 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

低压压力开关是为了防止压缩机吸气压力异常降低而设置, 气体从压缩机总吸气管分出流向压力开关。如果由于制冷剂泄漏或环境温度过低等原因造成压缩机吸气压力过低, 此压力开关切断压缩机工作电路令其停止。待压力上升时, 压力开关自动复位。

因此, 出现空调“压缩机低压故障”的原因可能由制冷剂泄漏或环境温度过低导致。

3.2 故障查找

3.2.1 制冷剂问题检测

在列车技术规格书的制定及合同谈判过程中, 对空调的设计提出过明确的要求: “通过其控制可实现客室通风、预制冷、制冷、紧急通风功能, 并根据运行条件自动调节制冷量大小”。加之列车运营一年多的时间, 因此对于空调频繁出现“压缩机低压故障”的原因, 首先考虑可能是因为制冷剂的泄漏或制冷剂不足导致。

通过对空调机组制冷剂泄漏情况检测, 发现确实存在针阀阀芯松动造成制冷剂泄漏的情况, 其中针阀松动导致制冷剂泄漏后报“压缩机低压故障”6 起, 压力开关松动造成制冷剂泄漏报“压缩机低压故障”1 起。

3.2.2 压缩机工作电流的测试

因制冷剂泄漏的问题导致“压缩机低压故障”的数量远低于空调出现的故障数量。排除制冷剂泄漏的问题后, 对所有列车的压缩机的工作电流进行了测试, 发现绝大多数列车空调压缩机的工作电流均在 8 A

以上，在正常工作范围内。只有个别机组压缩电流在 7.5~7.9 A 之间，由于当时是冬季，也属于正常范围。为进一步查找故障，对出现“压缩机低压故障”且机组压缩电流在 7.8 A 左右的 4 列车采取了补充制冷剂进行跟踪观察。补充制冷剂后，列车运营了一周左右的时间，再次出现“压缩机低压故障”，因此排除制冷剂不足导致“压缩机低压故障”的可能性。

3.2.3 环境温度检测

排除制冷剂的问题，导致“压缩机低压故障”的最大可能就是环境温度过低。安排人员对正线运营的列车实时温度进行了测量，广佛线为全地下运营线路，在冬季，隧道气温较高，根据压缩机启动条件及故障发生的时间段分析，客室内确实存在制冷需求（外温 19℃，客室温度 23.5℃）。根据压缩机启动条件：客室温度 $T_0 \geq T + 1.5℃$ （ T 为外界温度），制冷目标温度 $T_0 = 22℃ + (T - 19℃) / 4$ ；外温在 19℃，客室温度在 23.5℃ 时，空调运行在半冷状态，压缩机启动，但当时处于冬季，外温不会变化太大，所以压缩机运行基本上在临界状态，处于不断启动、停止的状态。图 2 是在正线运行时拍摄的空调机组显示状态。

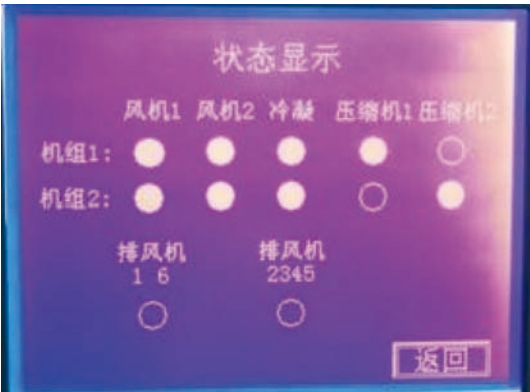


图 2 空调实际工作状态

为模拟正线空调的工作状态，在库内进行了试验，当外界温度为 19.5℃ 时，将库内列车的空调控制柜内温度传感器断开，直接接入一个温度传感器，人为升高客室内感应温度，启动空调机组。模拟测试结果如下：

- ① 压缩机运行电流检查：运行电流 9.3 A。
- ② 根据控制原理，模拟空调机组首次启动运行状态：空调机组首次启动运行 3 min，停 7 min 再次启动压缩运行 2 min，停 3 min 后再次启动压缩机运行，空调机组未出现低压故障报警。
- ③ 模拟出现低压故障后再次启动：空调机组强冷运行 10 min，断开压缩机低压信号，人为制造低压故障，30 s 后重新接好低压信号，让空调机组自动运行开启压缩机，3 min 后压缩再次启动运行，未出现低压故障报警信号。

3.3 故障判断

广佛线空调的工作原理主要是利用制冷剂液体气化、气体液化的相变过程来吸收室内空气的热量，并

将此部分热量输送到室外大气中的过程，如图 3 所示。

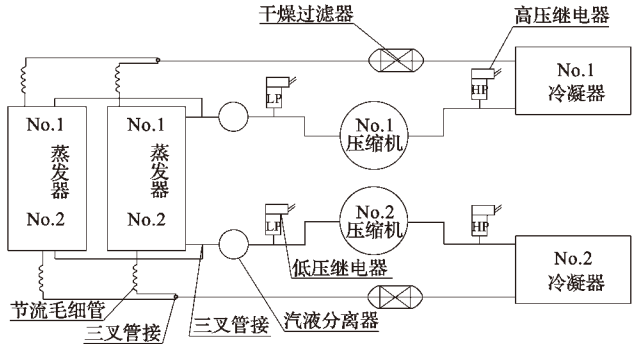


图 3 空调工作原理

制冷工作过程（见图 4）如下：

- 1 → 2：从蒸发器出来的低温低压（制冷剂）蒸气通过压缩机压缩后，转变成高温高压气体进入冷凝器。
- 2 → 3：高温高压的制冷剂气体经过冷凝器时，被环境空气（或水）冷却，制冷剂蒸气放出热量后被冷凝成高温高压的液体。
- 3 → 4：高温高压的液体经过节流阀（膨胀阀）节流，变成低温低压的液体进入蒸发器。
- 4 → 1：低温低压的液体流经蒸发器时，吸收被冷却物质（如客室内外的空气）的热量，而蒸发汽化成低温低压的蒸气后被压缩机吸入。

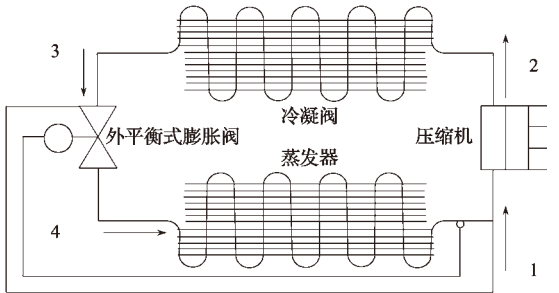


图 4 压缩式制冷循环示意图

上述 4 个过程不断进行，循环不已，制冷设备就能不断地吸收被冷却物质的热量。当其中任一部分出现故障时，制冷循环就将受到影响甚至中断。

广佛线空调采用的是日立压缩机，启动时容易出现低压问题，其控制程序中对压缩机低压的要求如下：

- ① 首次启动屏蔽前 7 min 压缩机低压故障，低压故障后，压缩机停机 2 min，并记录故障次数 1 次，如 2 min 后压力开关仍未恢复，则锁死故障并显示故障，如 2 min 内保护装置恢复，压缩机继续正常运行。
- ② 压缩机低压故障停机后，从故障恢复压缩机再次启动开始计时，如 2 min 内再次发生低压故障，则锁死故障；如 2~15 min 之间再次发生低压故障，则低压故障次数加 1，如 15 min 内机组未发生低压故障，则将低压故障次数清 0。
- ③ 机组低压故障次数累计为 3 次时，锁死故障并显示故障。

根据故障记录和当时的环境温度，压缩机首次报