

空调系统风机工作原理及故障案例

陈 洋 周 月 李伟新 程东旭 刘 洋

(中车长春轨道客车股份有限公司质量保证部, 130062, 长春//第一作者, 工程师)

摘 要 阐述了城市轨道交通车辆空调风机的工作原理及常见故障, 并对常见故障进行了案例分析。对冷凝风机、蒸发风机的扇叶脱落和断裂问题以及异响问题进行了故障分析, 并提出了相应的故障预防措施。

关键词 城市轨道交通车辆; 空调风机; 故障分析; 故障预防

中图分类号 U270.38*3

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.04.028

Working Principle of Rail Vehicle Air Conditioning Fan and Fault Cases

CHEN Yang, ZHOU Yue, LI Weixin, CHENG Dongxu, LIU Yang

Abstract In this paper, the working principle of urban rail transit vehicle air conditioning fan and the common faults are described. The fault cases like fan blade falling off, fan fracture and abnormal sound in condensation fan and evaporation fan are analyzed, corresponding fault prevention measures are proposed.

Key words urban rail transit vehicle; air conditioning fan; fault analysis; fault prevention

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

随着我国城市化建设的快速发展, 城市轨道交通已成为大城市居民出行的首选交通工具。与此同时, 乘客对城市轨道交通车辆的乘坐舒适性也越来越高, 这也促进了车载空调系统不断地更新换代, 如从早期的定频空调发展为变频空调, 从R407C、R22等制冷介质发展到CO₂制冷介质。但是, 空调风机是空调系统的一个薄弱环节, 容易发生故障, 影响空调系统的正常运行。

本文阐述了城市轨道交通车辆空调风机的工作原理及常见故障, 并对常见故障进行了案例分析。对冷凝风机和蒸发风机的扇叶脱落、断裂及异响进行故障分析, 并提出了相应的故障预防措施。

1 风机工作原理

城市轨道交通车辆的空调系统由客室空调机组、司机室送风单元、风道和通风机组成, 其中客室空调机组包括蒸发器、冷凝器、蒸发风机、冷凝风机、电加热器、膨胀阀、干燥过滤器、压缩机、高低压开关等部件。

蒸发风机通常由两台低噪声离心式风机组成(见图1), 其电机防护等级为IP56。蒸发风机将蒸发腔内的冷风或热风经风道吹向客室区域, 从而达到客室区域的降温或升温功能。冷凝风机通常由两台低噪声轴流式风机组成(见图2), 其电机防护等级为IP56。冷凝风机的工作方式分为上排风方式和下压风方式, 上排风方式是将冷凝器中的热量强制吹至车外大气中, 下排风方式是将车外的冷空气导入冷凝器。

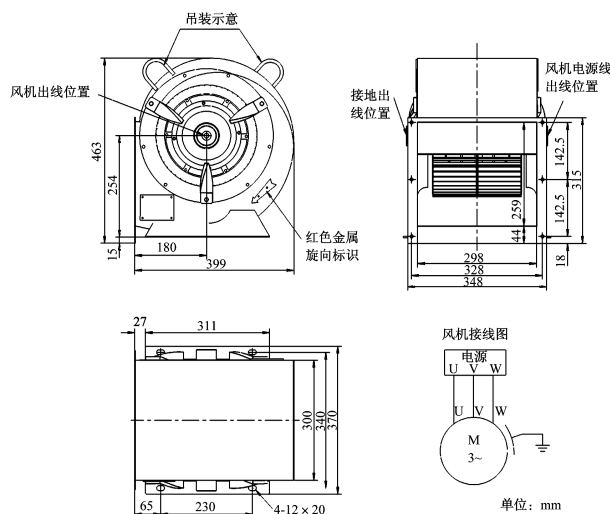


图1 蒸发风机结构视图

2 风机常见故障

常见的空调风机故障有扇叶脱落或断裂、风机异响等问题, 这些问题可分为设计类、工艺类及操作类问题。设计类问题主要是设计缺陷、设计验

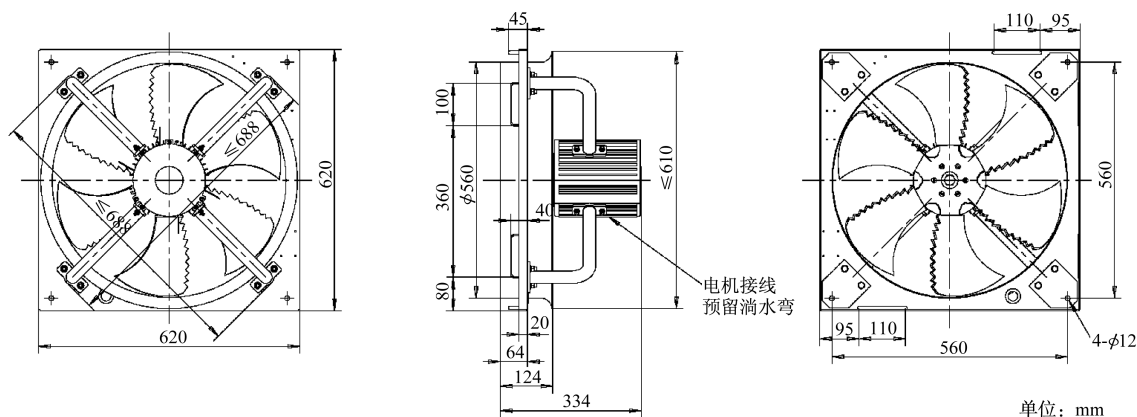


图2 冷凝风机结构视图

证、设计选型等方面存在问题;工艺类问题主要是工艺方法、工艺参数、工艺手段等方面存在问题;操作类问题主要是空调操作者技能低、经验主义、操作不认真等引发的问题。

3 风机故障分析

3.1 扇叶脱落和断裂

3.1.1 蒸发风机扇叶脱落的工艺问题

蒸发风机叶轮采用旋压加工工艺,利用插片胎具完成叶片插装,将叶轮安装在专用旋压胎具上。按照叶轮旋转方向按压对应开关,通过电机转动及减速机构传动,实现叶轮的自动旋压。根据 JB/T 10214《通风机铆焊件技术条件》要求,对旋压完成后叶片小爪与前后盘最大间隙应小于 0.3 mm。在检验时,发现个别小爪与前后盘间隙超过 0.3 mm。当采用冲床二次冲压的修整方案时,仅以叶轮理论高度标定冲床行程,没有考虑产品实际加工误差,因此,存在个别叶片变形或叶轮整体产生微变形情况,以及冲压应力集中的潜在风险。在车辆运行过程中,随应力释放叶轮产生变形,由此产生的不平衡导致叶轮与导流圈不断摩擦,进而导致蒸发风机扇叶脱落。

3.1.2 冷凝风机扇叶断裂的工艺问题

风机主要由电机、叶轮、面板导风圈和支腿组成,其中叶轮为铸铝结构,靠两个连接盘夹紧固定。连接盘使用 11 个 M6 螺栓紧固,轮盘上下半圆弧面夹紧叶轮卡座,依靠产生的摩擦力固定扇叶。在装配工艺检查时,M6 螺栓的校验力矩值为 6.1 N·m,发现有 3 条螺栓力矩不满足要求。由于螺栓都是一次性用电动扳手紧固到位,虽采用对角安装方式,但没有预紧过程,容易发生紧固力矩不足和不一致

的情况,造成叶轮松动的隐患,进而引发扇叶断裂。

3.1.3 冷凝风机扇叶断裂的操作问题

冷凝风机为直联式结构,叶轮为钣金焊接结构,叶壳和叶片均为 304 不锈钢材质,表面钝化处理。根据焊接工艺评定中的焊接规范要求,工艺评定要求热输入为 1.528 kJ/cm,而实际焊接过程中热输入为 2.230 kJ/cm,超出要求 45%(焊接规范中要求不大于 25%)。焊接时电阻点焊热输入过高,会导致电阻点焊焊缝位置出现微裂纹。在车辆运行过程中,叶轮受到不均匀的由离心力引起的拉应力和气流压力波动引起的交变应力,以及振动冲击等组成的共同作用力,最终导致裂纹延展,扇叶断裂。

3.1.4 冷凝风机扇叶断裂的设计问题

冷凝风机叶轮由轮毂与叶片铆接组成,其中轮毂和叶片均为 304 不锈钢材质,表面钝化处理。冷凝风机叶片使用不锈钢铆钉进行连接固定,通过 8 000 Pa 风压检验轮毂和叶片结构是否满足运行条件要求,具体数据如表 1 所示。冷凝风机的轮毂在一定程度上均会超过材料的屈服强度,在 8 000 Pa 风压作用下,轮毂根部区域应力很大,进而会发生一定的塑性形变。虽然尚未达到破坏程度,但轮毂在静载工况下材料已发生屈服现象,进而在长期周期性运动后存在出现裂纹的风险。

冷凝风机叶片使用不锈钢铆钉进行连接固定,通过 5 000 Pa 风压检验轮毂和叶片结构是否满足运行条件要求,具体数据如表 2 所示。冷凝风机轮毂和叶片在一定程度上均会超过材料的疲劳强度,在 5 000 Pa 风压周期性加载时,轮毂根部区域会发生一定的疲劳破坏现象。

3.2 风机异音

风机异音可分为机械噪声、电磁噪声和空气动

表1 8 000 Pa风压下的轮毂与叶片应力值

工况	轮毂			叶片		
	最大应力/MPa	许用应力/MPa	安全系数	最大应力/MPa	许用应力/MPa	安全系数
1	358.3	205.0	0.57	104.6	205.0	1.96
2	386.0	205.0	0.53	73.1	205.0	2.80

表2 5 000 Pa风压下的轮毂与叶片应力值

工况	轮毂			叶片		
	最大应力/MPa	许用应力/MPa	安全系数	最大应力/MPa	许用应力/MPa	安全系数
1	223.1	110.0	0.49	114.1	110.0	0.96
2	245.1	110.0	0.45	62.2	110.0	1.77

力噪声,其产生的原因主要有电机温升过高、电机动平衡量超标、轴承室尺寸超差、轴承压装不正及轴承本身质量问题等因素。

3.2.1 冷凝风机异音的操作问题

冷凝风机的电机轴向和径向均存在位移现象。通过拆解分析可知,轴承室和轴的公差均按SKF轴承标准选择,其转子动平衡量内控标准为0.500 g,行业标准规定单边允许不平衡量为1.564 g。对过程控制卡进行追溯,发现操作者误将动平衡标准由G1.0降到G2.5,使得电机动平衡超差,导致电机出现异音。

3.2.2 蒸发风机异音的工艺问题

通过电机拆解发现,轴承内部油脂干涸并已成粉末状,后轴承内圈与轴的台阶有1 mm间隙,即轴承没完全安装到位。取下后轴承解剖检查轴承内部情况,发现轴承内部滚道有损伤现象。对工艺进行反查,发现电机厂家的轴承压装采取的是立式压装,此种方式是靠工人手动操作及压装套筒自动定位装置来保证轴承内孔与轴承的同心度。当风机轴承压装时与转子轴承位不同心或风机轴承压装不到位,都会导致轴承发热并使润滑油脂逐步变质,失去润滑作用,致使滚珠与滚道润滑不良,滚道内壁逐步损伤,最后导致轴承运转产生异响。对设计结构反查发现,电机轴承室尺寸超差。电机轴承室设计尺寸公差为 $-0.002\text{ mm}\sim+0.020\text{ mm}$,如果轴承室内径尺寸超正公差,轴承与轴承室的配合间隙会超出设计要求,则电机在运转时轴承外圈与端盖轴承室产生蠕动,长期运行会引起端盖轴承室磨损,导致电机出现异音。

4 风机常见故障的解决

解决风机扇叶断裂问题的办法是将以往的焊接、铆接结构改为压铸铝结构。通过结构静强度、疲劳强度及模态对比发现,3种结构都能避开框架结构15~32 Hz范围的共振,都不会与机组发生共振,但压铸铝结构强度更高,安全系数更高。

改善风机异音问题的一个办法改善电机轴承压装方式。目前行业普遍采用卧式和立式压装,无论哪种压装方式,只要用转子轴的两端中心孔来对点,就能保证压装轴承时的同心度,进而保证轴承压装合格。

改善风机异音问题的另一个办法是电机轴承端盖的加工精度。通过对SKF轴承调研并结合轨道交通行业的运用经验可知,将端盖公差带控制在 $+0.005\sim+0.015\text{ mm}$,能够有效避免轴承与轴承端盖的摩擦。采用更精密的电子气动检验仪器对轴承端盖进行全检,可确保轴承端盖轴承室的尺寸精度。控制电机动平衡量在行业普遍水平之上也是改善风机异音的方法(行业普遍水平为G1.0,风机电机普遍水平为G2.5)。空调风机可通过测量X、Y、Z这3个方向的振动烈度来判定风机运行是否正常(行业标准为 $\leq 2.3\text{ mm/s}$)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国铁道部. 铁道客车空调机组:TB/T 1804—2009[S]. 北京:中国铁道出版社, 2009.
- [2] 国家机械工业局. 通风机转子平衡:JB/T 9101—1999[S]. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [3] 郑福国, 王维海. 轴流式送风机叶片断裂损坏的原因分析[J]. 电力安全技术, 2008, 10(5):36.
- [4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 一般用途轴流通风机技术条件:JB/T 10562—2006[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 一般用途离心通风机技术条件:JB/T 10563—2006[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [6] 郭明华, 冯剑波. 离心风机故障分析及维修总结[J]. 氮肥与合成气, 2018, 46(9):16.
- [7] 马翔, 董康田. 离心风机变频调速运行中存在问题及解决方法[J]. 热力发电, 2019, 48(11):80.
- [8] 李东波. 煤矿通风机常见故障及对策措施分析[J]. 山东煤炭科技, 2018(9):137.

(收稿日期:2019-09-12)