

# 北京大兴国际机场线车辆牵引变流器冷却风机 异常振动原因分析及维保措施

于欣杰

(河北轨道运输职业技术学院, 050051, 石家庄//副教授)

**摘 要** 通过在试验台上对冷却风机清灰前后的振动和平衡度测试,认为叶轮积灰是导致北京大兴国际机场线车辆牵引变流器冷却风机异常振动的原因。该线运营环境复杂,沿途受公路运输、土木工程、农垦耕作等影响,空气中灰尘、硅胶等颗粒物较多,容易造成车辆牵引变流器冷却风机叶轮积灰,导致异常振动。提出了车辆牵引变流器冷却风机的现阶段维保措施和后续改进建议。

**关键词** 北京大兴国际机场线; 车辆; 牵引变流器; 冷却风机; 异常振动

**中图分类号** U264.5<sup>+</sup>5

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.10.013

## Analysis of Traction Converter Cooling Fan Abnormal Vibration and Maintenance Measures for Beijing Daxing International Airport Line Vehicles

YU Xinjie

**Abstract** Through testing the cooling fan vibration and balance degree before and after ash cleaning on the testbed, the cooling fan abnormal vibration of Beijing Daxing International Airport Line vehicles is detected as the dust accumulation on the impeller. The operation environment of this line is complicated, affected by road transportation, civil engineering, land reclamation and farming along the line, there are plenty dust, silica gel and other particulate matters in the air, all of these are very likely to cause dust accumulation on the cooling fan impeller of vehicle traction converter and leads to abnormal vibration. Finally, the maintenance measures for current stage and follow-up improvement suggestions for vehicle traction converter cooling fan are put forward.

**Key words** Beijing Daxing International Airport Line; vehicle; traction converter; cooling fan; abnormal vibration

**Author's address** Hebei Rail Transportation Vocational and Technical College, 050051, Shijiazhuang, China

航,北京大兴国际机场线(以下简为“新机场线”)一期工程也同步开通。新机场线一期工程全长 41.36 km,其中地下线和 U 型槽线路长度为 23.65 km,地面和高架线路长度为 17.71 km,共设 3 座车站;采用 AC 25 kV、50 Hz 供电;列车是由中车四方股份有限公司在 CRH6 型动车组基础上改造而成的市域 D 型动车组,基于 GoA4(无人干预列车运行)全自动驾驶,全列采用“7+1”节编组(4 动 4 拖),7 节为载客车厢,1 节为专用行李车厢;最高运行速度为 160 km/h。市域 D 型动车组是为新机场线量身定做的智能化、全新服务模式的区域快轨列车,自投入运营以来,运营状况基本平稳。但由于该线路为新建线路,路基、隧道、轨旁建筑等处浮灰较多,加之沿线土建施工项目较多,扬尘四起,对该线路中所有机电设备的保养与维护,特别是对车辆牵引变流器冷却系统的保养带来了很大压力。

## 1 牵引变流器冷却风机异常振动问题分析

市域 D 型动车组在新机场线运行过程中,M1 和 M4 车客室地板出现异常振动,且振感明显,严重影响乘客乘坐舒适性和列车运行安全。经随车机械师确认,振动位置在牵引变流器冷却风机上方。但在司机操作台的显示屏上,牵引变流器未报出任何故障,车辆牵引运行功能基本正常。

市域 D 型动车组入库后,启动牵引变流器冷却风机高速运转模式,对 M1 车进行检查。检查发现,M1 车客室地板振动较大,其振源正处于牵引变流器上方,振动测试仪测得的牵引变流器冷却风机的振动值为 10.6 mm/s。对牵引变流器冷却风机进行全面检查后发现,其叶轮扇叶积灰严重。简单清除牵引变流器冷却风机叶轮扇叶积灰后,再次启动牵引变流器冷却风机高速运转模式,M1 车客室地板振感明显减小,此时振动测试仪测得的牵引变流器

2019 年 9 月 25 日,北京大兴国际机场正式通

冷却风机的振动值为 6.6 mm/s。

根据 ISO 14694《工业风机平衡质量和振动等级规范》<sup>[1]</sup>8.4 条,市域 D 型动车组牵引变流器冷却风机属 BV-3 类(地铁场所用、功率<15 kW),冷却风机出厂时,工装台测试振动值应小于 2.8 mm/s;装车后,冷却风机测试振动值应低于 4.5 mm/s;运用中,冷却风机测试振动值应低于 7.1 mm/s 的警戒值;运用中,冷却风机振动值达到 9 mm/s 时,需停机查明原因,并进行维保作业。

按照牵引变流器冷却风机维保作业规程,对市域 D 型动车组 M1 和 M4 车的牵引变流器冷却风机进行了外观状态检查。外观状态检查情况如下:①冷却风机叶轮总成外观无变形、无磕碰等异常现象;冷却风机叶轮两端轴承盖安装螺纹表面清洁,无螺纹胶胶沫产生。②冷却风机各紧固件防松线无移位,进风口、风筒、电机基座等部件安装牢固。③手摇冷却风机叶轮,叶轮转动灵活,无卡滞,无异音。④冷却风机电机转动灵活,无卡滞,无异音。外观检查未发现造成冷却风机振动量过大的因素。

## 2 牵引变流器冷却风机异常振动原因分析

市域 D 型动车组入库后,由于对 M1 车牵引变流器冷却风机进行的初步检查破坏了冷却风机的原始状态,为查明冷却风机产生振动的根本原因,在试验台上,对 M4 车牵引变流器冷却风机进行了振动和平衡度测试,对冷却风机清灰前和冷却风机清灰后两种情况进行对比试验。

### 2.1 冷却风机清灰前后的振动和平衡度测试

1) 清灰前冷却风机振动量测试。将 M4 车冷却风机拆下,不做清灰处理,安装在专用试验台上进行振动量测试。按照测试工艺要求,将冷却风机测试分为空载和负载(使用遮挡进风口模拟负载)两种工况进行测试,并分别在高、低速两个阶段获取振动量参数。测试结果如表 1 所示。由表 1 可知,冷却风机在高速负载工况运行时,前后垂直方

表 1 清灰前 M4 车冷却风机振动量测试结果 mm/s						
风机速度	风机工况	后水平振动量	后垂直振动量	轴向振动量	前水平振动量	前垂直振动量
高速	空载	6.3	9.6	1.7	6.5	9.1
	负载	6.5	9.7	1.7	6.6	9.6
低速	空载	4.4	5.6	0.2	4.3	5.5
	负载	4.8	6.6	0.4	4.4	6.7

向的振动量不仅均超过了 7.1 mm/s 警戒值,还超过了 9.0 mm/s 停机维保规定值。

2) 清灰前冷却风机叶轮动平衡度测试。依据 ISO 14694,冷却风机叶轮的动平衡等级应为 G2.5,其最大不平衡度允许值为 32 g·mm。使用双面动平衡工艺,即校正位置的剩余不平衡质量应小于 0.18 g。将 M4 车冷却风机的叶轮拆下后,不进行清灰作业,安装在试验台上进行动平衡度测试,其叶轮在空载和负载工况下,剩余不平衡质量分别为 0.82 g 和 2.85 g,均超过了出厂标准参数要求。

3) 清灰后冷却风机振动量测试。将 M4 车冷却风机拆下,按照检修程序对其进行清洗作业,然后安装在专用试验台上同样分为空载和负载两种工况进行振动量测试。由表 2 的测试结果可知,冷却风机高速负载工况运行时,前后垂直方向的振动量均在出厂标准 2.8 mm/s 范围内。

表 2 清灰后 M4 车冷却风机振动量测试结果 mm/s						
风机速度	风机工况	后水平振动量	后垂直振动量	轴向振动量	前水平振动量	前垂直振动量
高速	空载	1.6	2.5	1.5	1.2	2.3
	负载	0.9	2.8	0.9	1.2	2.0
低速	空载	0.3	0.5	0.4	0.4	0.5
	负载	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5

4) 清灰后冷却风机叶轮动平衡度测试。将 M4 车冷却风机的叶轮拆下,进行清灰作业后,安装在试验台上进行动平衡度测试。采用与清灰前同样的测试方法,该风机叶轮在空载和负载工况下,剩余不平衡质量分别下降至 0.132 g 和 0.160 g。清灰后,叶轮动平衡检查结果符合出厂要求。

### 2.2 冷却风机电动机振动测试

为进一步查明振动源,将叶轮拆卸后,单独测试该冷却风机的电动机振动量。由表 3 的测试结果可知,电动机各项振动量均低于出厂检验标准 2.8 mm/s 的要求,表明振动源不是由电动机产生的。

表 3 冷却风机电动机各项振动量测试结果 mm/s							
风机速度	风机工况	后水平振动量	后垂直振动量	后轴向振动量	前水平振动量	前垂直振动量	前轴向振动量
高速	空载	0.7	1.2	0.7	1.3	0.9	1.0
低速	空载	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5

## 3 牵引变流器冷却风机维保后振动量测试

为进一步甄别牵引变流器冷却风机振动问题

的原因,将 M4 车牵引变流器冷却风机按照检修工艺要求进行维保后,安装在车辆上进行振动量测试。启动牵引变流器冷却风机高速运转模式,进行振动量测试,测试结果如表 4 所示。由表 4 可知,冷却风机高速运转状态时,前后垂直方向振动量均为 3.7 mm/s,略高于出厂标准的 2.8 mm/s,但是低于装车后冷却风机振动量的标准值 4.5 mm/s。

表 4 M4 车牵引变流器冷却风机维保后振动量测试结果

mm/s

风机工况	后水平振动量	后垂直振动量	轴向振动量	前水平振动量	前垂直振动量
高速	2.5	3.7	1.7	2.6	3.7
低速	0.4	0.6	0.4	0.4	0.7

反复对比试验表明:附着在叶轮上的大量积灰使得叶轮失去动平衡,从而导致牵引变流器冷却风机产生异常振动。

## 4 冷却风机叶轮积灰的主因及维保措施

### 4.1 牵引变流器冷却风机叶轮积灰原因

1) 新机场线为新建线路,沿线浮灰较多,加之沿线土建施工项目较多,扬尘四起,致使牵引变流器冷却风机处于空气质量较差的工作环境中。通常情况下,空气中的含尘浓度越大,叶轮表面吸附的灰尘量也会相应增多,导致风机叶片积灰。

2) 新机场线采用的是轨道交通线路与高速公路共构共廊的交通模式设计,地下是电力、供水、通信等的综合管廊,地面是市政公路,中间是轨道交通新机场线,最上方是新机场高速公路。雨雪天气从最上层飘落的水滴,被高速运行的列车吸附。进入冷却风机中含尘空气的湿度越大,灰尘在叶轮的积聚的速度就会越快,空气中带有水滴的空气会进一步加快冷却风机叶轮积灰的形成。

3) 新机场线沿途受土木工程、农垦耕作等影响,特别是上下两层公路运输的夹击,空气中灰尘、硅胶等颗粒物质较多,容易造成车辆牵引变流器冷却风机叶轮积灰。随着空气的流动,空气中的硅胶颗粒、汽车尾气与灰尘相互混合,形成了胶质物质,这样就更容易粘附在叶轮表面沉积下来。

4) 冷却风机的压力分布的仿真结果也表明:冷却风机高速旋转时,叶轮中心区域会形成负压区,

灰尘和硅胶颗粒易在负压区聚集附着,逐渐累积,从而导致冷却风机叶片积灰。

### 4.2 现阶段维保措施

1) 拆下牵引变流器冷却风机设备仓底板,使用不脱毛的硬毛刷清扫冷却风机叶片表面积灰。

2) 使用干净的无毛抹布,将冷却风机叶轮表面浮灰进一步擦拭干净。

3) 用 500 kPa 的压缩空气吹尘枪,吹扫冷却风机叶轮。

4) 将冷却风机清扫干净无灰尘后,进行冷却风机整体检查,确保电机接线无断线、风机叶轮无变形、电机转动灵活无异音、安装螺丝紧固。

5) 启动牵引变流器冷却风机高速运转模式,使用振动测量仪测试,确认冷却风机振动量测试值小于 4.5 mm/s 且无异常后,将冷却风机设备仓的盖板安装牢固。

6) 根据市域 D 型动车组运行里程和检修周期,建议每 3 个月对冷却风机叶轮进行一次维保作业,确保列车安全平稳运行。

### 4.3 后续改进建议

1) 在冷却风机进风口增加高效空气过滤网,可以有效过滤空气中 0.1 μm 和 0.3 μm 的灰尘。

2) 将冷却风机叶轮改为平直叶轮,可以有效减少积灰问题,但需研究对进风量的影响。

3) 使用新型材料的叶轮涂层,如陶瓷、聚四氟乙烯等,可降低叶轮积灰问题,但这需要进一步研究。

## 参考文献

[1] ISO. 工业风机平衡质量和振动等级规范:ISO 14694:2003 [S]. Geneva:ISO,2003.

[2] 王永胜,丁杰,张平. 高速动车组牵引变流器振动特性及隔振优化研究[J]. 振动与冲击,2017(2):134.

[3] 唐灵芝,谢小丹,王阳亚. 动车组用冷却风机的开发研究[J]. 通用机械,2014(4):82.

[4] 张远亮,张立民. 某动车牵引变压器振动及传递分析[J]. 铁道机车车辆,2015(1):32.

[5] 朱新,王德柱. 电机冷却风机振动与噪声的控制措施及效果研究[J]. 船电技术,2019(3):36.

[6] 杨梦迪,施康. 某高转速地铁风机强度、振动数值分析和优化设计[J]. 风机技术,2016(6):40.

(收稿日期:2020-03-25)