

宁波轨道交通 2 号线一期列车报辅助 逆变器散热风扇故障分析

张燕平, 高晓亮, 王 腾, 于兴华

(宁波市轨道交通集团有限公司 运营分公司, 浙江 宁波 315000)

摘 要: 主要介绍了宁波轨道交通 2 号线一期列车辅助逆变器散热风扇的控制原理, 对运营过程中频繁发生的辅助逆变器散热风扇故障进行了分析, 明确了故障原因并提出了相应的解决办法。通过整改, 彻底解决了故障隐患, 保证了列车的正常运营。

关键词: 宁波轨道交通 2 号线; 辅助逆变器; 散热风扇故障

中图分类号: U231; U269.6 **文献标识码:** B
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.04.029

宁波轨道交通 2 号线一期工程是宁波市西南—东北方向的骨干线, 已于 2015 年 9 月 26 日开通试运营。2 号线一期工程共配置 24 列列车, 列车为 6 节 B 型车编组。列车辅助系统 (以下简称“SIV”) 采用国产化设备, 每列车共安装有 2 台 SIV, 采用强迫风冷形式进行冷却。每台 SIV 负责为 3 节车厢提供交流 380 V 电源和直流 110 V 电源, 故障时采用扩展供电方式供电。2015 年 7 月试运行期间, 列车 SIV 频繁报出“散热风扇故障”, 导致 SIV 无法正常工作, 且通过分合 SIV 电源空开进行应急处理故障无法恢复, 为此不得不安排列车退出正线服务, 严重影响列车运行秩序。

针对此问题, 本文分析了散热风扇控制原理, 对故障进行了调查分析, 明确了故障原因, 并提出解决办法。通过整改, 消除了故障隐患。

1 SIV 散热风扇工作原理

为降低列车噪声, 宁波轨道交通 2 号线一期列车 SIV 散热风扇设计为高低速两挡工作模式。当散热风扇工作在低速挡时, 散热风扇风速低噪声也低; 当散

热风扇工作在高速挡时, 散热风扇风速高, 冷却效果提升, 同时噪声也有一定升高, 但符合标准。具体来讲, 当列车 SIV 实际负载小于 70% 额定负载时, 散热风扇工作在低速挡; 当列车实际负载超过 70% 额定负载时, 散热风扇工作在高速挡。图 1 所示为宁波轨道交通 2 号线一期列车 SIV 散热风扇电气原理图。由于风扇电机负载为风机, SIV 散热风扇调速控制采用了比较少见的 Y/Δ 变换调压方式, 即通过切换散热风扇电机绕组接线 (Y 接法或 Δ 接法) 改变定子电压的方法进行调速, 实现高低速挡切换。具体来讲, 当断路器 K4、接触器 K11、K12 闭合时, 为 Y 接法, 风扇工作在低速挡; 当断路器 K4、接触器 K11、K13 接触器闭合时, 为 Δ 接法, 风扇工作在高速挡。

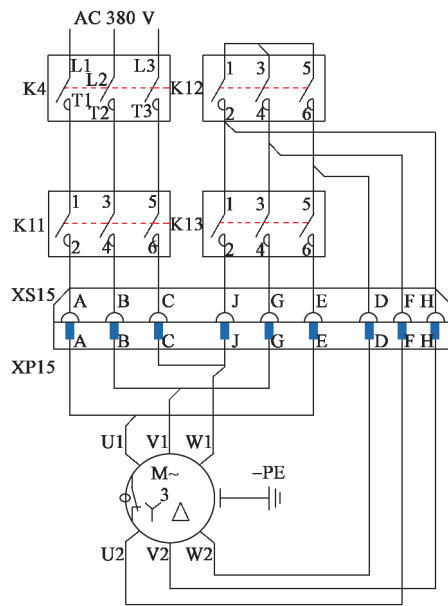


图 1 SIV 散热风扇电气原理图

2 故障调查

故障列车回库后, 对 SIV 散热风扇接线进行检查, 发现断路器 K4 跳开, 用万用表测量散热风扇电机 U、V、

W 三相绕阻阻值, 发现 W 相阻值为零。手动转动风散叶片有明显的顺畅及轴承异响, 确认为散热风扇电机故障。

为进一步确认故障原因, 对散热风扇电机进行了拆解检查, 发现风扇电机后轴承烧损, 内部绕阻有打火烧痕。初步确认风扇故障原因为风扇电机后轴承烧损, 导致风扇电机的定转子接触使风扇电机接地, 使断路器 K4 保护跳开。

进一步对散热风扇电机的转子进行检查, 发现电机转子轴承 N 端有过热变色痕迹, D 端情况较好。下载 SIV 相关数据进一步分析, 故障列车当天 SIV 的实际负载并未达到 SIV 额定功率的 70%, 因此确定散热风扇应处于低速工作状态。结合散热风扇电机的结构, 可以确定在低速工作模式下, 散热风扇电机转子发热严重, 热量传导至轴承, 引起转子轴承温度过高变色。轴承 D 端为进风口, 安装了风扇叶片, 电机带动叶片转动, 吸入空气, 空气流通较快使轴承 D 端更容易散热。而轴承 N 端为自然冷却, 没有很好的散热途径, 热量聚集导致轴承油脂蒸发, 进而导致风扇电机烧损。

后续其他列车也同样发生过此类故障, 拆解散热风扇检查发现故障现象一致, 说明故障隐患普遍存在, 而非单一故障。

3 原因分析

为了验证上述分析的散热风扇电机在低速工作模式下电机发热严重的结论, 重新装配了 1 台风扇进行模拟测试。发现风扇在低速模式下运行 3 h 后, 测得 N 端轴承运行温度达到了 116 ℃ (环境温度为 28 ℃), 温升达到 88 K, 而技术规格书要求为 50 K, 严重超过标准。而在电机的内部出厂测试中, 只是要求“进行 30 min 的测试”, 测试时间较短, 因此电机厂家未能发现散热风扇电机低速模式下发热严重的问题。在风扇厂家的出厂测试中, 测试温升的方法为“直接测试电机外端盖 (D 端) 温度”, 测得温升为 48.1 K, 符合技术要求。而实际情况下, 电机外端盖处 (D 端) 温度与电机 N 端轴承处温度存在较大差异, 电机外端盖处 (D 端) 温度比电机 N 端轴承处温度低, 因此风扇厂家的测试方法不合适, 也导致问题未能及时发现, 最终导致存在该问题的散热风扇装备到了列车 SIV 中。

4 改进措施

由于宁波轨道交通 2 号线配置的 24 列车共 48 台 SIV 中散热风扇均存在故障隐患, 为保证试运行的稳定, 必须立即对所有 SIV 散热风扇进行整改。但因厂家确定整改方案、准备物料及实施整改均需要较长的时间, 因此在过渡期间应采取应急措施, 避免试运行列车再次批量出现故障, 影响列车试运行考核。

4.1 临时改进措施

经过研究, 对现有型号散热风扇的低速模式和高

速模式的 2 种状态进行分析研究, 两者之间差异如表 1 所示, 确定可以通过临时修改 SIV 控制软件, 让 SIV 散热风扇一直工作在高速模式。风扇整改完成后, 将程序改为正常控制方式。

表 1 散热风扇低速和高速模式对比

项目	低速模式	高速模式	备注
风扇转速 / (r·min ⁻¹)	2 300	2 800	
电机功率 / kW	1.32	2.20	
绕阻温升 / K	111.5	71.5	绕组温升要求小于 130 K
轴承温升 / K	88.0	48.1	轴承温升要求小于 50 K, 低速模式不符合要求, 高速模式符合要求

4.2 最终改进措施

经过厂家研究, 决定采用新型号的散热风扇电机替换原有的散热风扇电机。新、旧风扇具体参数比较如表 2 所示。新电机的轴承温升经厂家型式试验测得为 48.14 K, 符合要求, 该型号风扇电机在国内其他地铁已大批量运用, 属成熟可靠产品。

表 2 新旧风扇参数对比

项目	旧散热风扇	新散热风扇
散热风扇型号	TJL390-1C	TJL390-1E
电机相数和极数	三相, 4 极	三相, 2/4 极
定子绕阻接法	△ / Y 接法	YY/Y 接法
标称转速 / (r·min ⁻¹)	2 800/2 300	2 870/1 435
标称功率 / kW	2.20/1.32	2.2/0.5
绝缘材料	H	H
防护等级	IP54	IP54

电气接口方面, 由于 2 种电机调速方式不一样, 需要进行重新接线。改造后的散热风扇电气原理如图 2 所示。风扇调速控制采用变极调速, 具体来讲, 当断路器 K4、接触器 K12 闭合时, 电机为 Y 接法, 散热风扇工作在低速挡; 当断路器 K4、接触器 K11、K13 闭合时, 电机为 YY 接法, 散热风扇工作在高速挡。

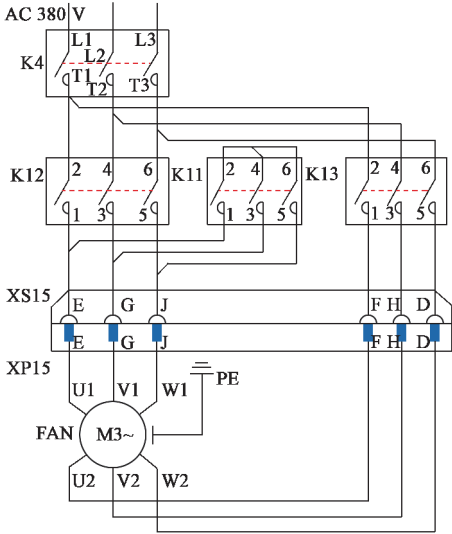


图 2 SIV 散热风扇改造后电气原理图

在 SIV 正常工作情况下测量新 SIV 箱内各设备的温升, 具体数值如表 3 所示。结果表明, 使用新型号电机的散热风扇冷却效果符合要求, 可以批量进行改

造。目前全部列车 SIV 已整改完成,运行情况良好。

表 3 各部件温度测试统计及温升计算表

时间	进风口	充电机 模块右	充电机 模块左	逆变器 模块右	逆变器 模块左	三相电抗 器表面	单相电抗 器表面	单相电抗 器绕组	变压器 表面	变压器 绕组
12: 50	20.3	35.3	38.2	38.6	41.1	39.5	38.9	37.5	60.5	68.0
13: 20	20.9	40.2	43.6	44.8	46.0	48.2	59.1	55.9	116.2	110.5
13: 50	21.6	43.6	48.2	49.2	51.3	55.3	68.9	62.1	130.2	129.2
14: 20	22.5	48.7	52.8	52.1	55.8	59.1	78.2	67.8	141.5	145.0
14: 50	23.7	49.2	55.1	52.9	58.2	63.8	80.0	72.4	148.3	147.2
15: 20	23.8	50.7	56.8	53.2	60.4	65.2	82.1	74.6	149.2	149.9
15: 50	23.8	50.8	56.9	53.1	60.5	65.7	83.4	75.4	150.4	150.8
16: 20	23.7	50.8	56.9	53.1	60.5	65.7	83.5	75.8	150.3	151.5
温升值 /K		27.1	33.2	29.4	36.8	42.0	59.8	52.1	126.6	127.8

5 结语

宁波轨道交通 2 号线一期列车 SIV 散热风扇频繁出现故障是由散热风扇电机选型不当、选用的风扇电机长期工作在低速模式温升过高和相关的出厂测试方法不严谨导致的。目前经过重新选用新型成熟可靠的散热风扇电机后,此问题已经得到解决,运营至目前未再发生此类故障。

参考文献:

- [1] 中车株洲电力机车研究所有限公司. 宁波轨道交通 2 号线一期列车辅助系统电气原理图 [Z]. 株洲: 中车株洲电力机车研究所有限公司, 2014.
- [2] 李发海, 朱东启. 电机学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.

作者简介: 张燕平 (1987—), 男, 工程师, 从事轨道交通车辆技术管理工作。

(上接第 115 页) 其中高速公路 447 km, 限速 60 km/h 行驶, 国道及城市道路约 20 km, 限速 30 km/h 行驶。车辆抵达现场缓慢推行车辆, 牵引电机无异音及异常振动。

2016 年 10 月, 由唐山公司向泉州基地运输地铁车辆, 全程约 2 087 km, 其中高速公路 2 067 km, 限速 60 km/h 行驶, 国道及城市道路约 20 km, 限速 30 km/h 行驶。

车辆抵达泉州基地缓慢推行车辆, 牵引电机无异音及异常振动。

落修任意 2 台牵引电机, 以 1 500 r/min 进行空转试验, 检测电机振动及噪声情况, 2 台牵引电机轴承无异音, 振动值符合 IEC 60349-2 标准^[5]要求, 电机运转正常, 检测结果见表 2。

表 2 试验电机轴承振动检测记录 mm/s²

电机号	轴承	标准	水平	垂直	轴向
1# 电机	圆柱滚子轴承	3.5	0.8	0.6	0.3
	深沟球轴承	3.5	0.4	0.4	0.4
2# 电机	圆柱滚子轴承	3.5	0.4	0.4	0.2
	深沟球轴承	3.5	0.3	0.4	0.2

拆解电机, 检查轴承内圈无凹痕。

从 2016 年起按此方案运输的福州、厦门及石家庄

地铁车辆合计 558 辆, 未发生牵引电机轴承失效, 防护方案可靠。

5 结语

公路运输地铁车辆是目前车辆供应商广泛采用的运输方式, 方便、快捷、经济, 为保证车辆运输安全, 按新防护方案运输, 可减少运输环节对牵引电机轴承的损伤。

参考文献:

- [1] 郭磊, 钟博, 李长俊. 地铁牵引电机轴承异响故障排查 [J]. 电机技术, 2013 (5): 59-61.
- [2] 李宽宏. 成都地铁牵引电机轴承异响故障分析 [J]. 科技传播, 2015(19): 41-49.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 滚动轴承损伤和失效术语、特性及原因: GB/T 24611—2009/ISO 15243: 2004 [S].
- [4] 王多多. 电机轴承的非运转性失效 [J]. 电机与控制应用, 2015 (6): 63-68.
- [5] 国际电工委员会. 电力牵引 - 铁路和道路车辆用旋转电机 - 第 2 部分: 电子变流器馈电交流电机: IEC 60349-2 [S]. 2010.

作者简介: 王雪岭 (1965—), 男, 高级工程师, 从事城轨车辆制造工艺技术工作。