

成都地铁18号线隧道风机全压启动故障研究

肖 锋¹ 王琮元²

(1. 中电建铁路建设投资集团有限公司, 610095, 成都; 2. 中国电建集团重庆勘测设计研究院有限公司, 401120, 重庆//第一作者, 高级工程师)

摘 要 目的:为解决地铁大容量风机配电及控制设备在距降压变电所较远情况下,全压启动大功率风机时产生的大电流将在长距离进线电缆上造成线路瞬时压降过大,从而引起线路末端接触器等二次设备因电压过低产生电弧而损坏,导致风机无法正常全压启动的问题,特对此类故障进行研究。方法:以成都地铁18号线西博城站为例,通过查阅相关手册对线路压降进行理论计算,同时对接触器可靠工作的电压结合相关规范及产品说明书进行比对;对压降较大时接触器烧毁的原因进行详细分析,得出解决问题的初步方案;再通过现场试验对初步方案进行实测验证的方式确定最终的结论及建议。结果及结论:新建项目适用于采用适宜截面的控制柜进线电缆,以减少线间压降;改建项目适用于在设备控制柜内增设UPS(不间断电源)等稳压设备;若地铁车站涉及大功率风机启动时,建议设计单位在前期施工图设计的电缆截面选择时留有一定的余量。

关键词 地铁隧道; 风机启动; 线路压降; 接触器; 稳压

中图分类号 U231.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.12.024

Research on Full Voltage Start-up Failure of Tunnel Fans in Chengdu Metro Line 18

XIAO Feng, WANG Congyuan

Abstract **Objective:** It is aimed to address the issue of large current generated during full-voltage start-up of high-power fans in metro stations relatively far away from substation, leading to excessive transient voltage drop on long-distance incoming cables. This phenomenon can lead to secondary equipment such as contactors at the end of the line being damaged due to low voltage arcing, resulting in the fan being unable to start up at full voltage normally, for which purpose the research is carried out. **Method:** Taking the Xibocheng Station on Chengdu Metro Line 18 as example, line voltage drop is theoretically calculated by referencing relevant manuals. Simultaneously, the voltage required for reliable contactor operation is compared with relevant specifications and product instruction manuals. A detailed analysis of the causes of contactor burnout during high voltage drop is performed to propose a preliminary solution.

The final conclusion and recommendations are then determined through on-site experiments to validate the proposed solution.

Result & Conclusion: Newly-built projects are recommended to use control cabinet incoming cables with appropriate profiles to reduce inter-line voltage drop. In retrofit projects, adding stabilizing devices such as UPS (uninterruptible power supplies) inside the equipment control cabinet is suggested. In cases where start-up of high-power fans is involved at metro stations, design units are advised to leave a certain margin when selecting cable profiles during the early stage of construction drawing design.

Key words metro tunnel; fan start-up; cable voltage drop; contactor; voltage stabilization

Author's address Power China Railway Construction Investment Group Co., Ltd., 610095, Chengdu, China

成都轨道交通18号线(以下简称“18号线”)一、二期工程项目线路全长69.39 km,共设车站13座。18号线是国内首次采用市域A型车的8辆编组,车长为186 m,设计最高运行速度为140 km/h的地铁线路。地铁车站的规模一般长为220~250 m,车站主体结构长为22~40 m。该车站规模较大,由于其运行速度高,因此盾构隧道断面内直径设计为7.5 m。18号线车站隧道风机最大为132 kW,为国内首次采用大功率风机。

根据规范要求,当地铁地下车站或区间处于灾害模式时,需要启动隧道风机。根据经验及设备特性,电机启动瞬间大电流将对低压电力系统造成较大冲击,同时当启动风机容量过大时将导致母线电压降低引起电力系统设备损坏;采用全压直启的方式时电机启动瞬间电流明显大于降压启动电机时的启动瞬间电流,电机采用全压直启是最为直接可靠的启动方式,特别是在消防工况下显得尤为重要,但采用该启动方式也存在一些问题。本研究将以18号线西博城站为例进行分析。

1 设计方案

1.1 概况

18 号线西博城站为 4 线换乘车站,地下两层岛式站台设计,站台宽为 15.0 m,车站总长为 664.0 m,标准段宽度为 25.6 m,在车站大里程端设置小交路折返线。

西博城站小里程(A 端)和大里程端(B 端)分别设置 2 台区间 TVF(隧道风机),单台用电量为 132 kW/380 V。

1.2 隧道风机及区间射流风机配电控制设计

车站隧道风机主要电气参数见表 1。

表 1 车站隧道风机主要电气参数

Tab.1 Main electrical parameters of station tunnel fan			
功率/kW	额定电流/A	启动电流/A	数量/台
132	245	1 911	4

由变电所两段低压母线各引入一路电源至环控电控室,经双电源装置切换后在配电至隧道风机。每台隧道风机配置一面双电源切换柜。A 端隧道风机双电源进线柜及控制柜安装于 A 端站厅环控电控室内;B 端隧道风机双电源进线柜及控制柜安装于区间风井配电间内。

1.3 启动方式

非消防专用风机设备(如排风机、送风机等)及消防兼用风机(如隧道风机、排风兼排烟机等)采用在配电回路加装软启动器等降压启动的方式;消防风机及消防兼用风机在消防工况下采用全压直启的方式。

2 存在问题及原因分析

2.1 问题情况

2020 年 4 月 18 日,测试小组在对西博城站最不利工况进行测试时,执行 MS09(启动 2 台 132 kW 风机和 8 台射流风机)隧道通风模式时,发现 TVF-A01 环控柜异响,并产生烟雾,模式执行失败,立即断电操作。现场检查发现 B 端 L1 环控柜内部接触器及热继电器烧毁。

2.2 原因分析

2.2.1 电缆选型分析

根据配电设计,对西博城站电缆选型是否合适的分析如下:

三相平衡负荷线路电压降计算:

$$\Delta U = \Delta U_a I l \tag{1}$$

式中:

ΔU ——线路电压损失百分数;

ΔU_a ——三相线路每 1 A·km 的电压损失百分数;

I ——负荷计算电流;

l ——线路长度。

根据式(1)并查表得 1 kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆用于三相 380 V 系统的电压降,计算可知大里程端(B 端)环控电控柜进线电缆在额定运行工况下,电缆电压损失为 2.8%。综上可知,正常工况下此车站电压损失满足 GB 50052—2009《供配电系统设计规范》^[1]电压偏差允许值(±5%)的要求。

在该站火灾运行模式下,隧道风机作为消防兼用风机根据上述应采用全压直启的方式。风机厂家提资全压直启电流约为额定工作电流的 8 倍,则在隧道风机全压直启工况下,由式(1)可得 1 台隧道风机全压直启的负荷计算电流为 2 005.6 A。

根据式(1)并查表计算可知:大里程端环控电控柜进线电缆在隧道风机全压启动工况下,电缆瞬时电压损失为 22.9%,变压器空载电压取 400 V;大里程端环控电控柜进线端在隧道风机全压启动工况下瞬时电压为 308 V,为额定电压的 81.1%,满足 GB 50055—2011《通用用电设备配电设计规范》^[2]2.2.2 条规定的配电母线上未接照明或其他对电压波动较敏感的负荷,不应低于额定电压的 80%的要求。根据以上分析,设计电缆选型满足规范要求。

2.2.2 接触器分析

GB 50055—2011 的 2.2.2 条规定:对于低压电动机,尚应保证接触器线圈的电压不低于释放电压。故环控电控柜进线端母线电压应保证接触器线圈的电压不低于释放电压。

GB 14048.4—2010《低压开关设备和控制设备第 4-1 部分:接触器和电动机起动器 机电式接触器和电动机起动器(含电动机保护器)》^[3]中 8.2.1.2 条规定:单独使用或装在起动器中使用的电磁式接触器,在其额定控制电源电压 U 的 85%~110%之间任何值应可靠地闭合。此范围的 85% U 适用于下限值,110% U 适用于上限值。接触器释放和完全断开的极限值是其额定控制电源电压 U 的 20%~75%(交流)。此范围的 20% U (交流)适用于上限值,75% U (交流)适用于下限值。由此可知接触器线圈可靠闭合的电压最低为额定电压的 85%,即

323 V;接触器线圈释放电压的最高为额定电压的 75%,即 285 V;接触器线圈在电压为额定电压的 75%~85%时,为规范未做准确定义释放还是闭合,根据现场测试的接触器线圈电压若处于其额定电压的 75%~85% 区间范围内时接触器处于不可靠工作状态。

2.2.3 分析结论

因 18 号线长大区间隧道风机为首次配置 132 kW,在最不利工况火灾模式下,需同时全压启动 2 个 132 kW 风机和 6 个 37 kW 风机,设计计算按照规范下限值压降不高于 20% (304 V) 进行设计,现场实测最大压降为 18.9% (即电压为 308 V);接触器可靠闭合工作电压最大压降允许值为 15% (即电压为 323 V),当输入电压降至 285~323 V 之间时为其不稳定工作状态,导致接触器处于虚接状态,反复开闭,产生电弧会烧毁接触器及热继电器。

3 解决方案

3.1 方案介绍

方案 1 更换较大截面积的电 缆,以减少线路压降。其具体调整方案详见表 2。

表 2 电缆更换方案对比

Tab. 2 Comparison of cable replacement schemes

位置	容量/ kW	原电缆规 格/mm ²	调整后电缆 规格/mm ²	线缆长 度/m	ΔU_1 / %	ΔU_2 / %
双切柜 1	160	双拼 120	双拼 240	250	18.9	14.3
双切柜 2	160	双拼 120	双拼 240	250	18.9	14.3

注: ΔU_1 表示调整前启动瞬间的压降比例; ΔU_2 表示调整后启动瞬间的压降比例。

方案 2 二次回路(接触器)增加 UPS(不间断电源) 电源稳压方案。

在环控电控室内增加 AC 220 V 在线式 UPS 电源(每台双电源切换柜对应 1 台),将隧道风机二次控制电源“由柜顶母线供电”调整为“由在线时 UPS 供电”,如图 1 所示。确保二次设备(接触器)处于正常工作电压范围。

3.2 方案分析及选择

通过分析方案 1 和方案 2,得出如下结论:

1) 增加环控电控柜进线电缆截面积方案:通过式(1)的计算可知,要使得大风机全压直启瞬时环控电控柜进线端子电压不低于额定电压的 85% (即电压为 323 V),降压所至环控电控柜进线电缆应选择截面积不小于 $WDZBN-YJY-3 \times 240 \text{ mm}^2 + 2 \times$

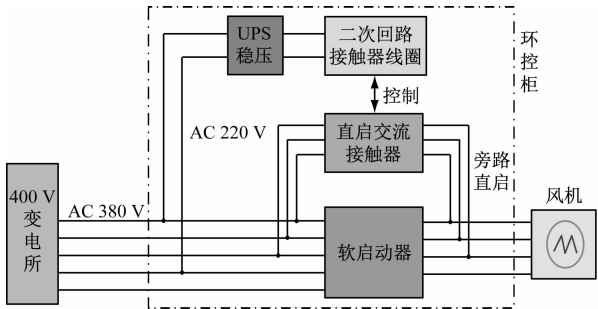


图 1 二次回路电源稳压原理图

Fig. 1 Voltage stabilizing principle diagram of secondary circuit power supply

120 mm² 双拼电力电缆。该方案将造成现场既有电缆废弃,影响联调联试及空载试运行工期,同时增加投资较多。采用此方案若在线网电压波动使变压器空载电压低于 400 V 较多时,仍可能出现接触器工作电压过低的问题,因此,不推荐该方案。

2) 二次回路(接触器)等设备增加稳压装置方案:在变压器空载电压为 400 V 时,进线电缆压降计算结果基本满足目前规范的要求,仅是母线电压需与接触器可靠工作电压配合的问题,故可以认为现电缆型号无需更换,仅对接触器等设备增加稳压装置即可。通常采用的稳压装置为不间断电源或 DVR(动态电压调节器)可解决瞬间电压骤降稳压问题,其区别在于 DVR 设备一般适用于大容量负载,且所需安装空调较大,需单独规划安装位置;UPS 设备则一般适用于较小容量负载,且所需安装空间较小,可直接安装于环控电控柜内部剩余空间,无需单独规划安装位置。由于此处仅需对小里程端环控电控柜内接触器等二次设备进行稳压,两组隧道风机、环控电控柜内接触器等二次回路所需容量共约 3 kVA,且地铁车站环控电控室空间一般较为狭窄,同时为保证设备安装的整齐度,建议选用 3 kVA 容量的 UPS 电源装置为环控电控柜内接触器等二次设备供电,并将其安装于环控电控柜内。本方案仅需在大里程端环控电控室安装一台 3 kVA 容量的 UPS 电源装置,无需对现场进行较大改动,设备供应工期可控,投资增加较少。此方案在线网电压波动的情况下,即使变压器空载电压低于 400 V 时,仍可保证环控电控柜内接触器等二次设备的正常工作,故推荐采用此方案。

3.3 测试验证

按照上述方案 2 实施后,经过现场验证,最不利工况风机启动正常,符合规范和设计要求,电压稳

定在 380 V,环控电控柜内接触器等二次回路工作正常。

4 结语

随着城市轨道交通车站规模不断增大,运行速度不断提高,在项目中有大容量风机需在消防工况下采用全压启动时,为避免二次回路在直启瞬间压降过大时导致接触器等二次设备烧毁,电气设计人员在进行压降校核设计时应注意现行规范 GB/T 14048.4—2020 接触器的相关规定,注意按照接触器可靠工作电压要求进行选择。

因接触器线圈电压处于其额定电压的 75% ~ 85% 区间范围内时接触器处于不可靠工作状态,建议设计人员按照瞬时电压降不大于接触器额定工作电压的 15% 进行控制。

- 解决控制柜二次回路瞬时电压降措施主要为:
- 1) 方案 1 采用适宜截面的控制柜进线电缆,减少线间压降;
 - 2) 方案 2 在设备控制柜内增设 UPS 等稳压设备。

其中方案 1 的优点为结构简单传统,便于运行维护,适用于新建项目;方案 2 的优点为投资较低,适用于已建发生故障的改造项目。

以上 2 个解决措施均能解决控制柜二次回路瞬时电压降问题,具体解决措施宜根据项目现状、项目投资额及运营单位需求经综合选择。若地铁车

站涉及大功率风机启动时,建议设计单位在前期施工图设计的电缆截面选择时留有一定的余量。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 供配电系统设计规范:GB 50052—2009 [S]. 北京:中国标准出版社,2010.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China,General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design electric power supply systems: GB 50052—2009 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 通用用电设备配电设计规范: GB 50055—2011 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of electric distribution of general-purpose utilization equipment: GB 50055—2011 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [3] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 低压开关设备和控制设备 第 4-1 部分: 接触器和电动机起动器 机电式接触器和电动机起动器: GB/T 14048.4—2020 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Low-voltage switchgear and controlgear—Part 4-1: Contactors and motor-starters—Electromechanical contactors and motor-starters: GB/T 14048.4—2020 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.

(收稿日期:2022-05-20)

地铁站为什么要设置这么多出入口

地铁工程师在设计之初,进行现场踏勘的时候,在哪里设置地铁出入口是他们最先思考的问题。正常情况下,地铁车站会设置两个及以上的出入口,一般设置在十字路口的四个象限或在马路的两边。工程师们会尽量将出入口通道设置在合适的位置,能够让乘客快速便捷地去自己想去的地方。

一般来说,地铁出入口是独立设置的,式样各不相同。有些熟悉地铁的乘客甚至可以通过不同样式的出入口判断即将进入的是哪条地铁线。但是也会有一些特殊的出入口,乘客可以在一些沿街商店外立面上找到地铁标志,只要沿着标志标牌依次进入,可以很方便地进入地铁。有的出入口与地下过街人行道结合,也有的出入口直接设置在某大型商场的下沉式广场中。

地铁出入口一般由楼梯与自动扶梯组成,这些宽敞的楼梯和上下行扶梯的设置,都是经过工程师根据这个车站的近远期客流数据仔细严密计算而来的。若是发生紧急情况,地铁出入口可以帮助乘客快速有序地在规定的时间内从地下疏散至地面安全区域。

(来源:上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司“轨行致远”公众号)