

城市轨道交通全自动运行线路车站空调系统风水联动调试分析

谭玉良

(上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 200070, 上海//工程师)

摘 要 以上海某轨道交通 FAO(全自动运行)线路车站风水联动调试为案例,对其调试思路进行了探索,梳理出调试过程中的相关设备。将风水联动调试划分为 4 个主要阶段,深入总结每个阶段调试过程中的问题并提出解决方案。对建设管理方、设计单位、运营方、集成商提出了风水联动调试的合理化建议。

关键词 城市轨道交通;全自动运行线路;车站空调系统;风水联动调试

中图分类号 U231.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.026

Analysis of Station Air-conditioning System Wind-water Joint Commissioning of Urban Rail Transit FAO Lines

TAN Yuliang

Abstract Taking the wind-water joint commissioning of a FAO (fully automatic operation) rail transit line station in Shanghai as study case, the commissioning ideas are explored and the relevant equipment in the commissioning process are sorted. The wind-water joint commissioning is divided into four main stages, and the problems in the commissioning process of each stage are summarized in depth and solutions are proposed. Reasonable suggestions are put forward to construction management, design unit, operator and integrator about the wind-water joint commissioning.

Key words urban rail transit; FAO line; station air-conditioning system; wind-water joint commissioning

Author's address Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

城市轨道交通通风空调系统耗电约占总耗电的 25%~40%,仅次于列车牵引供电能耗。通风空调系统的节能对城市轨道交通总体能耗降低有重大意义,能够产生明显的经济效益和社会效益。通风空调系统容量按远期负荷进行设计,设备选型留

有余量。实际运行过程中,尤其是近期,空调负荷远远小于设备最大运行负荷,会产生较多的能源浪费,在非高峰时段亦存在设备选型的富裕问题。

城市轨道交通 FAO(全自动运行)线路上的车站运营人员较有人驾驶线路大幅减少,这对车站设备的自动化运行提出了更高要求。较好地完成车站空调系统的风水联动调试(以下简为“风水联动调试”),能够明显减轻车站运营人员的工作量。目前,风水联动调试很大程度上依赖于厂家,对于其他单位封闭性极强;对其在设计原理、联动优化、建设管理等层面也缺乏系统性、针对性的总结。为此,本文对此进行了有效补充。

1 城市轨道交通车站风水联动调试概述

城市轨道交通车站通风空调系统通过通风、制冷等模式操作,借助空调水系统进行负荷交换,对车站内的温度、二氧化碳浓度进行控制,使车站环境指标满足运营要求。其运行原理见图 1。传统风系统与水系统分开控制、相互独立,风、水系统难以有效协调,节能效果有限,人员操作繁琐,已不适应 FAO 线路的需求。

风水联动是将风系统和水系统作为一个整体,通过节能控制系统或综合监控系统对联动设备进行集成控制,确保两个系统之间的协调运行,有效地将风系统的变频控制与水系统的变频控制融合起来,使设备负荷尽可能与实际需要负荷相接近,从而减少多余能量消耗,提升车站环境的舒适度;通过自动化运行,减少运营人员繁琐操作,提高 FAO 线路的运营水平。

2 车站风水联动调试的要求

通过组织实施上海某 FAO 线路车站风水联动调试,类比车站火灾联动工况调试,对风水联动的

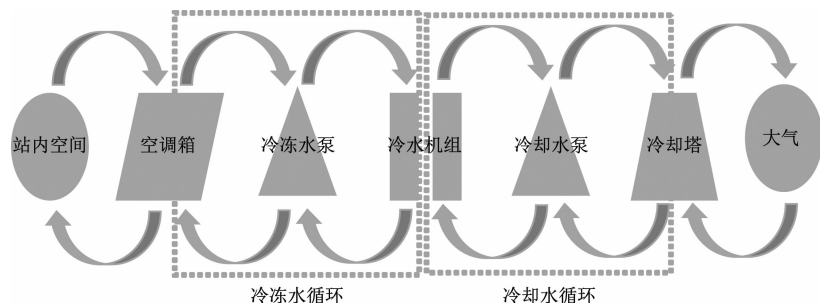


图1 车站空调系统运行原理示意

Fig. 1 Schematic diagram of operation principle of station air-conditioning system

调试思路进行了探索与总结。将风水联动调试划分为4个阶段,对每个阶段的设备明细、功能要求进行了总结。

1) 单机单系统调试阶段:由厂家和施工单位作为实施主体,对设备运行状态、管道严密性、风系统风量、水系统水量等功能进行验证,完成风量和水量平衡调试。

2) 接口调试阶段:梳理出参与风水联动控制的设备,完成现场设备与远程控制系统的功能点位对接。以调试车站为参考,对联动设备进行了归纳。其中:车站环控系统包括组合式空调箱、新风机、回排风机、电动调节阀、送回风传感器、新风道传感器、公共区传感器、计量电表,车站空调水系统包括冷水机组、冷却循环泵、冷冻循环泵、冷却塔、电动二通阀、电动蝶阀、压差旁通阀、计量电表。

3) 联动测试阶段:主要实现冷水机组联动模式(如有)和节能控制模式的控制功能。节能控制模式为:根据不同场景,执行不同的节能模式,核实设备控制功能的一致性和设备参数反馈的正确性,验证冷量、水压和调节能力是否满足使用要求。冷水机组联动模式为:通过设置合理的启停顺序、设备联锁保护,一键启停冷水机组,顺次启停冷却循环泵、冷冻循环泵、冷却塔、冷水机组等相关设备,一键启停是运营备用功能。

4) 试运行阶段:风水联动功能实现后,需试运行一段时间,对系统出现的设备故障、报警、压力异常、温度异常及节能效果等进行分析和排查,对控制策略进一步优化,力求实现一站一方案。在满足使用功能的前提下,最大程度地提高节能效率。

3 车站风水联动调试问题分析

以上海某FAO线路车站风水联动调试为参考,对调试中发现的问题进行总结,对典型性和疑难性问题进行分析。

3.1 单机单系统调试阶段问题分析

1) 施工类问题:① 传感器安装位置、数量不符合设计要求,传感器设备易发生故障,数值调校不满足监测要求;② 能耗监测装置如智能电表遗漏;③ 空调器、空调水系统管道漏水;④ 对于电动二通阀、水蝶阀等乙供设备,不同厂家产品的接线方式有差异,导致接线进度滞后。

2) 调试类问题:① 风系统未进行风量平衡测试,风口风速不均匀影响送风制冷效果,影响乘客舒适度;② 水系统需进行水量平衡测试,在风水系统最大运行工况下,调整二通阀的阀门开度,满足水量平衡和末端的冷量需求。

上述问题是安装单机调试阶段的常见问题,可通过风水联动专项调试发现并推进。组织调试专题会,由设计单位、集成商、施工单位对涉及问题进行确认,出具相关变更,并补充设备安装项目;乙供设备由施工总包组织供货商接线交底,并提供产品说明书;风量平衡和水量平衡是单机调试推进的难点和关键点,由建设单位牵头,设计单位和监理单位参与,施工单位实施,对风量和水量平衡进行逐站推进。

3.2 接口调试阶段问题分析

3.2.1 设计问题

3.2.1.1 典型问题一

设计对设备运行参数远程监视的要求不全。冷水机组的智能电表未带通信功能接口,无法进行远程监视;设计未将冷却循环泵、冷冻循环泵、冷却塔等主要变频柜控制设备的功率和能耗等信息列入综合监控点位,风水联动控制单元无法获得需要的设备运行信息,对控制策略实施和能耗的计算有较大影响。

由设计单位出具变更,施工单位更换为带通信功能接口的电表;由于变频柜内接线和桥架线缆敷设已全部完成,若再次改线代价高昂,通过组织变

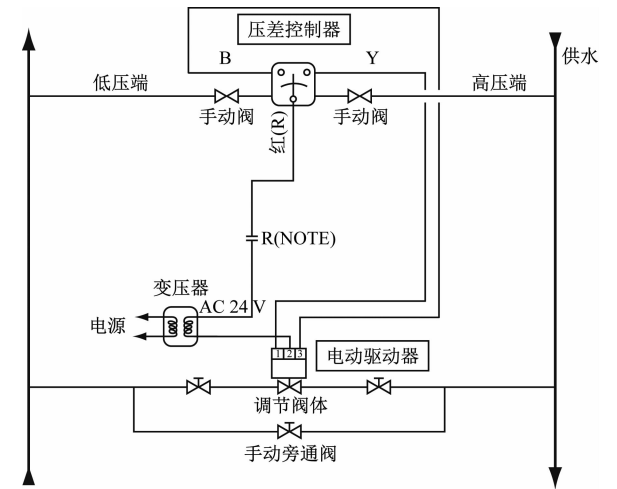
频柜厂家、智能低压系统集成商、综合监控集成商进行多次协商,由智能低压系统和综合监控系统增加程序点位,将设备功率、能耗等信息通过程序途径传递给综合监控,再将信息传给风水联动控制单元。

3.2.1.2 典型问题二

未明确集水器、分水器之间的压差旁通阀功能要求。施工图纸为电动压差旁通阀,阀门采用远程控制,但未要求有 220 V 和 24 V 的供电电源接口,亦无压差报警的信号输入要求。联动集成商反馈不要求本阀门远程控制,设计单位后续变更为自力式压差旁通阀,由施工单位重新采购安装。

压差旁通阀是空调水系统平衡系统压差的阀门,安装于集水器和分水器之间,能够降低系统运行噪声,降低过大压差对设备造成的损坏。压差旁通阀将两端水压力差值与预先设定值进行比较决定输出方式,以控制阀门开关,通过水量调节达到平衡系统水压的目的。压差旁通阀可分为自力式压差旁通阀和电动压差旁通阀。自力式压差旁通阀由水力自动调节,电动式压差旁通阀由驱动电源和信号电源共同控制。

压差旁通阀的核心功能是根据集水器、分水器之间的压差进行开关的控制。无论采用自力式阀门还是电动阀门,都需设计单位要求明确才能够实现其功能,尤其是电动压差旁通阀。从图 2 可以看出,压差旁通阀能够自动控制,但需要 220 V 驱动电



注:NOTE 表示触点 R 与冷冻系统联锁;B、Y 分别表示蓝色和黄色电线。

图 2 电动式压差旁通阀接线示意图

Fig. 2 Wiring diagram of electric differential pressure bypass valve

源和 24 V 控制器电源接口,如果有远程监控要求,还应要求产品具有远程接口功能。

3.2.2 系统集成商问题

集成商出具联动设备点表的时间较晚,对于一些不满足联动要求的设备,设计单位后续调整难度较大;空调器、新风机、排风机等设备与风阀、风水联动控制单元缺乏相应软件进行联锁;联动控制单元图形界面与综合监控的程序点位对接进度滞后。

系统集成商参照其他联动调试项目的做法提供联动设备点表,实施效果良好。集成商通过对点表的梳理,深入消化设计文件,同时通过比对监控专业的点位,检查设计方案是否能够实现自身的控制策略要求。设备的联锁关系常常会被集成商忽略,在接口调试阶段需对其进行验证,并及时修改程序。

3.2.3 调试问题

某车站自动运行时,发现 1、2 号冷却塔变频控制柜信号线接反,此时运行 1 号空调水系统,2 号冷却塔启动,导致运行中的 1 号冷水机组温度异常停机。标准车站一般设置 2 组空调水循环系统,经常出现这 2 组设备接反的情况,如果接口调试阶段不及时发现该问题,完工后再调整比较困难。

空调水系统施工进度往往靠后,调试时间仓促,设备分布距离远,调试时沟通不便,易出现控制设备错乱。现场调试时需特别重视设备动作、控制柜编号、监控界面设备编号三方统一。将设备编号核对完整,重点核查控制线或者电源线有无接反的情况。

3.3 联动阶段问题分析

3.3.1 典型问题一

当联动变频设备打到“EMCS(机电设备监控系统)”档,采用程序控制一键启动设备时,冷却循环泵会以 5 Hz 频率运行。

根据动力照明专业的设计要求,风水联动设备中变频柜有“环控”“冷水机组”“EMCS”三档控制旋钮,见图 3。冷水机组联动时,将 SA1 打到“远方”档、SA2 打到“冷水机组”档,该联动可在变频回路及旁路实现,以 50 Hz 输出。在旁路工频回路实现时,SA3 需打到“工频”档。当采用一键启动时,将 SA1 打到“远方”档、SA2 打到“EMCS”档、SA3 打到“变频”档,EMCS 发出远程一键联动命令,但未要求设置运行频率,冷却循环水泵默认以出厂设置频率 5 Hz 运行。

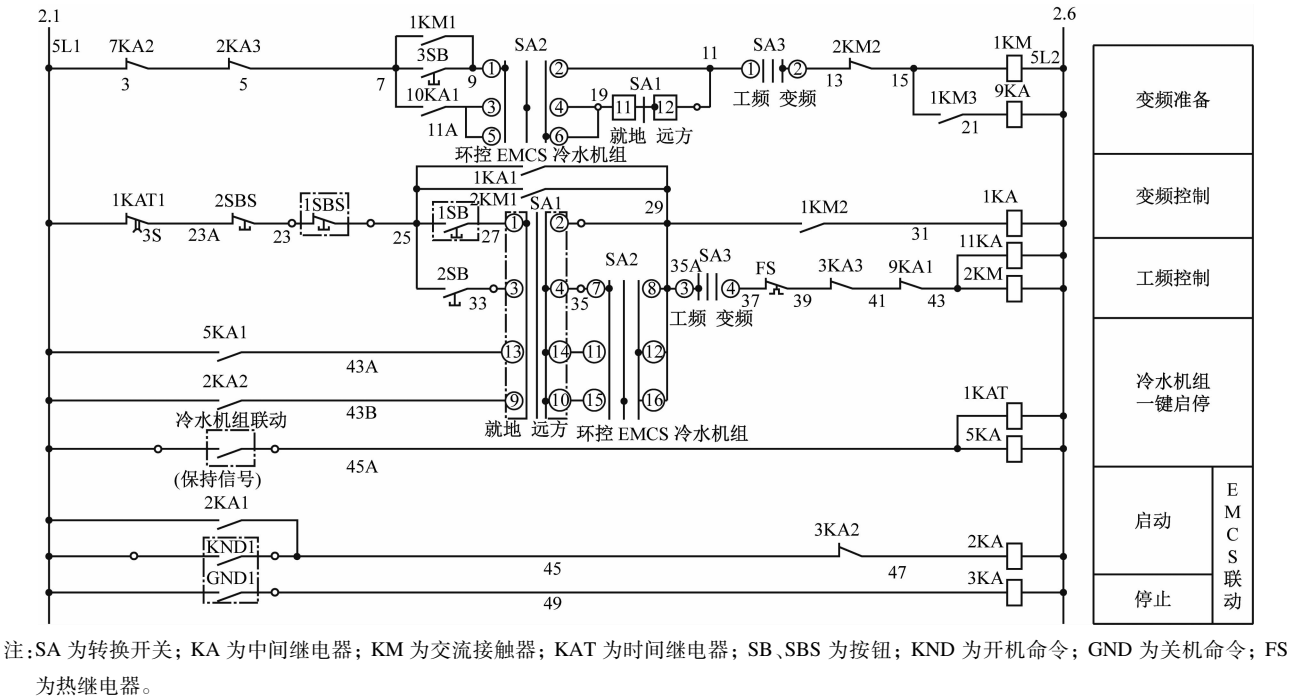


图 3 冷却循环泵变频控制原理

Fig. 3 Control principle of frequency conversion of cooling circulating pump

通过修改变频器控制程序,冷却循环水泵以不低于 30 Hz 的保护频率运行,智能低压系统同步进行程序设定。

3.3.2 典型问题二

设备开机、关机顺序未按设计单位要求运行。为保护冷水机组,冷却循环水系统需先处于运行状态。设计单位要求开机顺序为冷却循环泵→冷冻循环泵→冷水机组→冷却塔,关机顺序为冷水机组→冷却塔→冷却循环泵→冷冻循环泵。

3.4 试运行阶段问题分析

3.4.1 典型问题一

某车站由于后期调整地面道路,导致该车站冷却塔移位 180 m。冷却循环泵执行 40 Hz 以下频率的调节策略时,会出现水压不足的情况,在冷却循环泵运行一段时间后,出现低水流量报警停机。经排查,发现为冷却塔补水管补水能力不足。发现问题后,调高频率调节下限,同时增大补水管管径,提高补水能力。

当冷却塔移位较远时,冷却循环泵的设计富裕扬程被用满,30 ~ 50 Hz 的频率调节策略不再适用。经现场试验,调整为 40 ~ 50 Hz 的频率调节策略。补水管随冷却塔移位后,管道水损增加,导致出水压力减小、补水量降低。通过增大补水管管径,降

低管道水损,解决了该问题。

由于车站布局的差异,风水系统随着运行时间的推移会出现一些特有的问题和故障,需通过试运行跟踪使用效果,不断排查故障并调整控制策略,满足不同车站的运行要求。

3.4.2 典型问题二

随着运行时间的增加,车站风水系统运行规律逐步建立。风水联动程序需进一步与客流数据、运营时间表、天气预报等数据相结合,由“动作反射期”向“动作预先适应期”逐步过度,使运行状态更加贴合运营场景,进一步提升运营服务水平,提高乘客舒适度。

4 车站风水联动调试建议

4.1 对建设管理方的建议

建设管理方作为施工、调试的组织者,在复杂的风水联动调试项目中,分阶段统一组织管理较为有效。

1) 采用专项小组推进调试,由主管领导担任小组长,定期开展推进会议。风水联动调试涉及多系统、多设备联动,关联单位众多,需要持续推进并有力、有序开展该项工作。

2) 选取样板车站,发现和归纳问题,逐步在其

他车站推进风水联动调试工作。样板车站应选取施工进度较快、施工质量和配合度良好的车站。

3) 风水联动调试分单系统调试、接口调试、联动测试、试运行 4 个阶段,每个阶段进行功能性验证。单机单系统调试和接口调试是联动测试的基础,大多数问题亦往往集中于这两个阶段,因此需提前开展并格外重视。

4.2 对设计单位的建议

设计单位出图和联动集成商招标往往在时间上存在交错,设计人员通常按照以往的设计思路进行设计,或者注释“厂家深化”,较易出现设计真空。

1) 在联动集成商确认后,需组织设计单位和集成商的设计联络会、接口谈判会。设计单位对集成商进行设计交底,并对其控制方案进行审核。另外,根据集成商的反馈,及时调整、补充设计内容,并出具相应的变更。

2) 通过对设计点表与集成商出具的联动设备点表进行比对,对监控设备的种类、数量和监控点位进行梳理,查找漏缺内容,检查设计方案是否满足联动功能要求。

4.3 对运营方的建议

运营方是设备的使用者,设备自动化运行程度高、故障率低,能够极大减轻运营人员的负担。在完成风水联动调试后,需及时对运营人员进行培训,并将设备尽快投入使用,充分暴露设备故障,对通风、制冷效果和节能效率持续跟踪。由于车站各异,风水联动后产生的效果以及设备产生的故障会有差异。通过不断反馈车站情况,使得集成商不断修正,尽快形成一站一方案的控制策略。

4.4 对集成商的建议

联动集成商是实现联动功能的核心支撑,需与各方主动对接,以提高产品的可靠性。

1) 控制方案需满足设计要求。联动集成商应

(上接第 115 页)

新的发展方向,为城市轨道交通绿色发展提供技术支撑。

参考文献

[1] 王冬海,黄柒光. 列车灵活编组在城市轨道交通全自动运行线路中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(增刊 2): 102.

及时获取设计专业图纸,同时对接设计单位并理解设计意图,在设备开启顺序、阀门与设备的联锁、环控专业运行模式等方面做到准确无误。

2) 提高与运营场景的契合度。将控制策略与运营时间、客流数据、气象预报等相结合。

3) 传感器需校对准确。传感器是系统的触角,可感知客观环境,传感器准确与否,是选择控制策略的关键环节。随着使用年限的增加,传感器会有误差,建议每隔 2 年对数值进行标定。

5 结语

随着我国对“碳达峰”目标的持续推进,节能在城市轨道交通建设和运营中越来越受到重视,节能要求和指标亦越来越严格。上海某 FAO 线路车站完成了风水联动调试并成功移交运营单位使用,提高了 FAO 线路的建设管理和运营服务水平,促进了节能效率的提升,可为类似 FAO 线路车站风水联动调试工作提供参考。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局. 城市轨道交通通风空气调节与供暖设计标准:GB/T 51357—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, State Administration of Market Supervision and Administration. Standard for design of ventilation air conditioning and heating of urban rail transit: GB/T 51357—2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
[2] 王晓保,杨欣,袁立新. 地铁车站空调实施风水联动控制技术节能效果分析[J]. 上海节能, 2013(7): 10.
WANG Xiaobao, YANG Xin, YUAN Lixin. Analysis of energy-saving effect in subway station's air-conditioning implementing air system & water system combined-control technology[J]. Shanghai Energy Conservation, 2013(7): 10.

(收稿日期:2022-09-15)

WANG Donghai, HUANG Qiguang. Application of flexible train formation on rail transit FAO lines[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(S2): 102.

[2] 赵家炜,刘婧婧. 地铁列车在线联挂、解编功能分析[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(8): 152.
ZHAO Jiawei, LIU Jingjing. Analysis of metro train coupling and uncoupling functions[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(8): 152.

(收稿日期:2022-09-26)