

地铁通风空调集成系统与 电动开启式表冷器

北京城建设计研究总院有限责任公司 王奕然[☆] 李国庆 史柯峰
北京北空空调器有限公司 尹小炜

摘要 介绍了地铁通风空调集成系统的设计思路、设备研发过程中的主要技术难点及解决方法。阐述了该系统在封闭式系统和屏蔽门系统中的应用方案。

关键词 地铁 集成系统 电动开启式表冷器 研发 节能

Integrated ventilation and air conditioning system and electric opening surface air coolers for underground railway

By Wang Yiran[★], Li Guoqing, Shi Kefeng and Yin Xiaowei

Abstract Presents the design ideas, main technical difficulties encountered and solution during research and development of the integrated system. Presents its application to the closed system and the platform screen door (PSD) system.

Keywords underground railway, integrated system, electric opening surface air cooler, research and development, energy saving

① [★] Beijing Urban Engineering Design & Research Institute, Beijing, China



王奕然

主要设计项目

- 伊朗德黑兰地铁1、2号线
- 北京地铁13号线
- 北京地铁5号线
- 深圳地铁4号线
- 沈阳地铁1、2号线
- 上海地铁13号线
- 北京地铁10号线 (二期)

1.1 设计思路

传统的地铁车站公共区通风空调与区间隧道事故通风系统分开独立设置,系统复杂、事故通风设备平时闲置、系统机房占地面积大、能耗较高。新型通风空调集成系统将车站公共区通风空调与区间隧道事故通风系统合并设置,并在系统中引入了电动开启式表冷器,以解决传统系统中存在的问题。

系统合并可以减少设备数量,明显减小了系统机房的面积。但是,为了实现分别对隧道和车站送排风,需要利用原有的区间隧道事故通风机房(土建风道)的空间布置车站公共区的空气处理设备。如果将传统系统中的组合式空调机组设于土建风道中,机组体量过大,难以布置。于是考虑将机组的各功能段拆开,根据土建风道的具体结构特点及

0 引言

地铁通风空调集成系统(国家发明专利 ZL 03101900.5)是一种新型地铁通风空调系统形式,电动开启式表冷器是基于新型系统的需求而研发的新型空气处理设备,是集成系统的设计理念得以实现的一个重要设备基础^{[1]①}。经过了产品研发、样机制造、性能检测以及新产品鉴定,电动开启式表冷器已在北京地铁5号线、10号线一期及4号线工程中被成功应用,替代了传统的组合式空调机组,体现出了较好的节能、节地效果^[2]。

1 地铁通风空调集成系统

①[☆] 王奕然,男,1973年5月生,大学,高级工程师,副总工程师
100037 北京市西城区阜成门北大街5号北京城建设计研究
总院有限责任公司
(010) 88336601
E-mail:wangyr@buedri.com
收稿日期:2011-03-29

① 北京城建设计研究总院. 新型城市轨道交通通风空调多功能集成系统研究报告. 北京,2008

系统功能要求,分散布置在适合的地点。

由于送风系统兼顾区间隧道事故通风功能,当隧道发生火灾时,送风机反转运行,系统排出高温烟气。若采用传统组合式空调机组的过滤及表冷段,需设置排烟旁通风道,整个土建风道既要加长,又要加宽。对于地铁工程而言,地下空间的土建造价非常高,而且风道的加宽也意味着施工风险的加大。

于是考虑将表冷器设计为门式,安装上电动装置,在排烟工况下控制其开启,减小排烟阻力。这样就不需要设置旁通风道,可以减小土建风道的规模,降低工程投资与风险。

同时,地铁内部发热量大,在非空调季节需要进行大流量通风,排除余热。传统系统需要利用组合式空调机组送风。其内部的表冷器空气侧阻力为 150~200 Pa,占风系统总阻力的 20%左右。在空调季节表冷器对空气进行降温除湿处理,是必须的设备;在非空调季节,表冷器则变成了多余的设备,只能增加能耗。如果此时将表冷器开启,则可较大幅度地降低通风能耗。

1.2 应用方案

根据不同的气候条件,需设置空调系统时,地铁通风空调集成系统主要有闭式系统和屏蔽门式系统两种基本形式。

1.2.1 闭式系统

闭式系统车站公共区与区间隧道之间不设屏蔽门,空间上连通。车站设置空调系统为公共区送风的同时,利用列车活塞作用携带车站冷风进入区间隧道进行冷却降温。一般车站的空调风量为 $(2.4 \sim 3.6) \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

闭式通风空调集成系统的原理图如图 1 所示。闭式系统在车站两端分别设置一条送风道和一条排风道,电动开启式表冷器(包括挡水板)设置在送风道内,由车站送排风道及风道内的可逆转送排风机(风量 $60 \text{ m}^3/\text{s}$)、消声器、组合风阀等组成车站公共区空气处理系统。该系统同时兼顾车站公共区及区间隧道事故通风功能。

通过电动组合风阀的开闭转换及表冷器的开启,该系统能满足公共区空调季节最小新风运行、全新风空调运行和非空调季节通风运行等要求。当区间隧道发生火灾时,送排风机可以同时

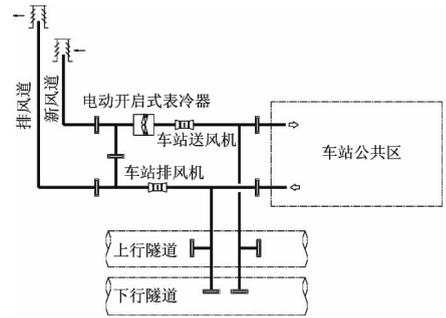


图 1 闭式通风空调集成系统原理图

道内的表冷器和空气过滤器,形成无阻挡的送风道或排烟道;当区间隧道发生阻塞事故时,可以继续向表冷器送冷水,降低送入阻塞区间空气的温度,对降低夏季阻塞区间的温度非常有利,为采取其他应急措施提供了宝贵的时间。具体的运行模式见表 1。

表 1 闭式通风空调集成系统运行模式

	送风机	排风机	表冷器
空调季	送风	排风	关闭
非空调季	送风	排风	开启
站厅排烟	停止	排烟	
站台排烟	排烟	排烟	开启
隧道排烟	排烟	排烟	开启
隧道阻塞(夏季)	送风	送风	关闭

结合不同的车站土建布局、外部规划条件及施工方法,闭式通风空调集成系统有多种平面布置方案^[3]。图 2,3 是风道布置在车站主体外侧及内侧的明挖车站系统平面布置图。

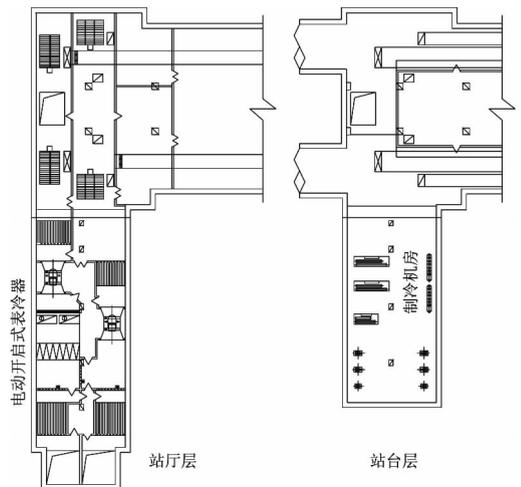


图 2 风道在车站主体外侧的系统平面布置图(明挖车站)

明挖车站的风道对风道宽度的限制一般较少,可以采用单层的布置形式,设置在站厅层。但是暗挖车站风道通常作为车站的施工竖井,若设置为单层,出土需进行两次提升,困难加大;另外,暗挖风

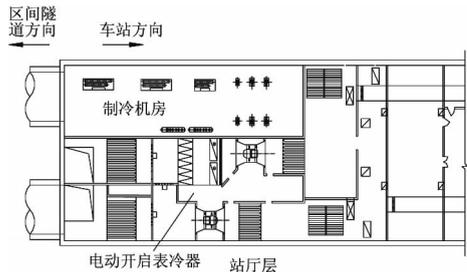


图3 风道在车站主体内侧的系统平面布置图(明挖车站)

道若断面很宽,其造价及施工风险也大,因此,以往的暗挖车站风道通常采用双层布置方案。根据土建结构的形式,暗挖风道有两种方案:直墙拱方案(CRD施工法)和曲墙拱方案(PBA施工法),如图4所示。

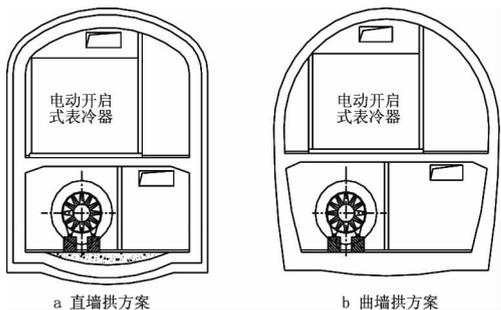


图4 暗挖风道直墙拱及曲墙拱方案的风道断面

从图4中可以看出,由于风道内需布置电动开启式表冷器,对风道净空要求较高,曲墙拱方案的空间浪费较为严重;另外,设备与曲墙之间的封堵面积也非常大,施工困难。由于两种方案的土建施工成本相差不大,因此,应尽量采用直墙拱的暗挖风道方案。

从前面的分析可以看出,集成系统及电动开启式表冷器对不同的车站土建布局都有很好的适用性。

1.2.2 屏蔽门式系统

在北京地铁封闭式通风空调集成系统成功应用后,笔者又对南方屏蔽门式系统采用集成理念及电动开启式表冷器进行了方案研究。

屏蔽门式系统车站公共区与区间隧道之间设屏蔽门,空间不连通。车站设置空调系统,仅负担公共区的负荷,一般车站的空调风量为 $(1.0\sim 2.0)\times 10^5\text{ m}^3/\text{h}$ 。区间隧道需要设置平时机械通风系统,采用通风方式排除余热。

屏蔽门式通风空调集成系统的原理如图5所

示,平面布置图见图6,运行模式见表2。

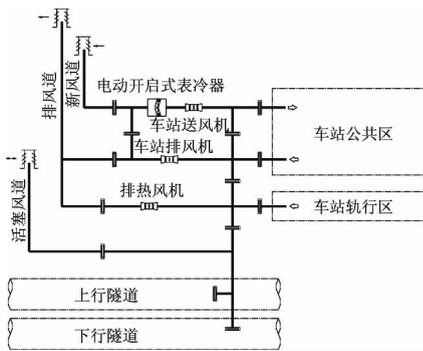


图5 屏蔽门式通风空调集成系统原理图

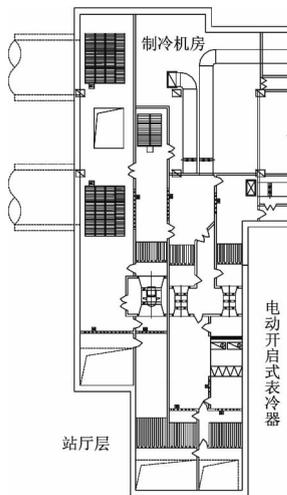


图6 屏蔽门式通风空调集成系统平面布置图

表2 屏蔽门式通风空调集成系统运行模式

	送风机	排风机	表冷器	排热风机
空调季	送风	排风	关闭	排风
非空调季	送风	排风	开启	排风
站厅排烟	停止	排烟		停止
站台排烟	排烟	排烟	开启	排烟
隧道排烟	排烟	排烟	开启	排烟
隧道阻塞(夏季)	送风	送风	关闭	送风

可以看出,通过合理的系统划分和设备配备,集成理念在屏蔽门式系统中也可以实现,并发挥出节能、节地的效果。

2 电动开启式表冷器的研发

为了实现地铁通风空调集成系统的设想,有关生产企业开展了电动开启式表冷器的研制开发工作。

2.1 基本功能要求

电动开启式表冷器由开启式表冷段、开启式过滤器段、挡水板、水路系统、围护结构及控制系统等组成。

电动开启式表冷器除了需满足额定工况下的

风速、冷却能力、风阻、水阻、漏风量等基本性能要求外,其表冷器段及过滤器段还需实现开启和关闭两种状态,以减小非空调季节通风和火灾排烟时的气流阻力。在接受到动作信号后由工作状态(图 7 关闭状态)转入非工作状态(图 8 开启状态)的时间不长于 30 s。

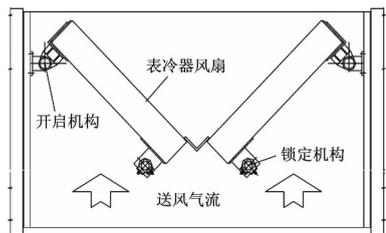


图 7 开启式表冷段工作状态(关闭)示意图

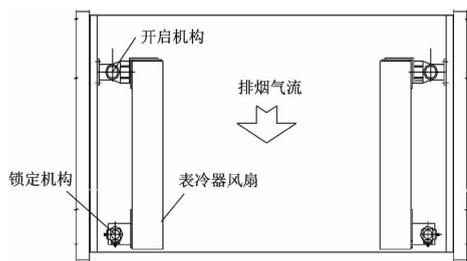


图 8 开启式表冷段非工作状态(开启)示意图

另外,电动开启式表冷器须保证设备在通过 250 ℃ 高温烟气时,在 1 h 内不泄漏、不变形、不垮塌、不阻塞排烟通道。

2.2 主要技术难点及解决方案

2.2.1 开启机构

电动开启式表冷器的开启功能是区别于一般表冷器的最主要特征。表冷器的质量和体积巨大、内部的环境湿度大、用于消防排烟对防火性能要求高,因此开启机构的选择是设备研发的难点之一,而且其是否合理直接关系到设备研发的成败。电动开启式表冷器采用门式结构,门扇的开启方式有很多,比如钢丝绳牵引、齿轮齿条传动、液压开启、力矩电动机开启等。北京地铁 5 号线、10 号线一期及 4 号线工程的电动开启式表冷器采用了力矩电动机开启。力矩电动机采用电力驱动装置,通过多级减速,可输出低转数、大扭矩的动力。开启装置直接安装在门扇的铰页上,通过电气控制手段,可以保证门开关运行平稳、到位准确可靠,如图 9 所示。

2.2.2 表冷器设计

表冷器采用标准化模块,表冷器单元如图 10

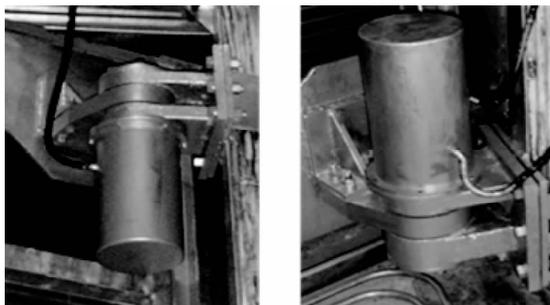


图 9 开启式表冷段的上、下开启机构



图 10 表冷器单元

所示,多个表冷器单元并联安装在开启门扇上组成表冷器段。每块表冷器单元是相对独立的小系统,可单独供、排水,快速拆装,便于安装及日后的运行、管理、维修。

表冷器采用逐段升高的支路与连接弯头组成蛇形水路设计,使表冷器内的水能有效地排出,排水率可达 97% 以上。有利于地铁中冬季表冷器完全泄水,避免被冻损伤。

表冷器用水作介质,为了排除管内气体,均采用下进上出式,在表冷器与系统水路连接处设置截止阀,最高点加装自动放气阀,最低点加装泄水阀。

由于电动开启式表冷器是可转动的部件,表冷器水路与系统水路需要采用柔性软管连接。经过弯曲疲劳试验以及对耐火等级的考虑,选择了不锈钢金属软管(如图 11 所示)。不锈钢金属软管耐压 1.6 MPa,法兰连接,带压弯曲 500 次无泄漏(0.8 MPa)。可以保证在地铁中长期使用。另外,表冷



图 11 不锈钢金属软管

器管路按照旋转方向成一定角度,以减小金属软管的弯曲程度。

2.2.3 锁定装置

为了保证表冷器在送风及排烟状态下不随气流摆动,需设置门体的锁定装置。电动、手动锁定装置与力矩驱动装置配套使用,完成门扇就地、远程启闭的全过程。电动锁定装置用电磁铁作为动力,驱动锁头升降运动,把门扇锁紧在关闭或开启位置上,动作过程可靠、准确。它可直接安装在门扇上,方便了远程控制及手动操作。紧急状态下,锁定装置可手动打开,然后推拉表冷门上把手即可实现手动开门。

门体锁定装置还可以对门体提供必要的支撑作用,减小铰页所受的偏心力,控制框架的变形量。

2.3 产品性能检测

电动开启式表冷器先后在国家权威部门进行了多次性能试验,包括表冷器的开启形式试验、表冷器转动机构疲劳性能试验(500次,0.8 MPa)以及250℃/h耐高温试验等,均取得了满

意的结果。

3 结语

综上所述,地铁通风空调集成系统可以应用于设置空调系统的不同地区的地铁工程,适用范围广泛。电动开启式表冷器是基于该系统的节能、节地设计理念提出的,设备的研发解决了一系列技术难题,能够满足新型系统的需求。

另外,电动开启式表冷器的节能原理具有通用性——既可以应用于地铁建设,也可以应用于其他大型公共建筑。因此,它的出现也为大型公共建筑的通风空调系统节能提供了较好的技术选择,对建筑节能技术具有一定的推动作用。

参考文献:

- [1] 李国庆. 城市轨道交通通风空调多功能设备集成系统[J]. 暖通空调,2009,39(5):31-32
- [2] 王奕然. 新型通风空调集成系统在北京地铁中的应用[J]. 都市快轨交通,2010,23(6):85-89
- [3] 张立琦. 地铁通风空调集成闭式系统风道设计浅析[J]. 暖通空调,2010,40(7):22-24