

北京某轨道交通路网管理服务中心暖通空调设计

肖璇

北京城建设设计发展集团股份有限公司 北京 100037

摘要：本文通过分析了轨道交通地铁路网管理服务中心各功能区域特点，较详细介绍了线路系统设备机房及备用电源室（UPS）、指挥大厅等区域的空调系统设计，并体现空调系统设计有利于节能方面的优势、展示了其适应近期需求方面的灵活性特点。

关键词：地铁控制中心 地板送风 机房专用空调 节能

1. 引言

城市轨道交通路网管理服务中心，作为城市轨道交通系统的核心组成部分，承担着城市轨道交通多条线路的全线所有运行的车辆、车站及线路区间进行全面的监视、控制、协调、指挥、调度和管理的职责^[1]，其中，暖通空调系统的安全、可靠运行将直接影响到整个线路设备系统安全、可靠、稳定运行和工作人员的工作环境。本项目建成后将是北京市轨道交通路网管理服务中心之一^[2]。

2. 工程概况

本管理服务中心是依据 14 条轨道交通线路规模修建的控制指挥中心。其建筑面积近 60000 m²，建筑为地下两层，地上十层，该路网管理服务中心涵盖 14 条轨道线路的服务管理、中心包括有控制中心（OCC）、票务清算中心（ACC）及指挥中心（TCC）^[3]，地下二层为汽车库、地下一层为电源室、机电设备用房及物业用房等，地上一～五层为控制中心设备机房、票务清算及指挥中心系统设备机房和办公用房等；六至十层则为办公用房。

3. 空调系统设计

3.1 冷热源设置

鉴于项目存在大量的系统设备机房，且有发热量大及需全年供冷等特点，空调系统冷源采用集中式空调冷水机组与系统特定设备房间（如控制中心、票务清算中心及指挥中心等）专用风冷机房空调冷源相结合的双冷源方式。

考虑各条线分期入驻，相应的系统设备机房亦将分阶段投入使用，因此，机房专用空调的冷源最后确定与大楼中央空调水冷冷源分离，采用独立的风冷冷源，风冷室外机设在裙房屋面。中央空调冷源机房设在地下一层，集中冷源设置两台 2100kW 离心式水冷冷水机组^[4]，一台 1210kW 螺杆式冷水机组，冷冻水供回水温度 7/12℃，冬季冷却塔供冷提供 7/9℃ 冷却水，并通过板式热交换后，提供供回水温度 9/14℃ 冷水。

空调热源由城市区域供热厂提供，额定温度为 250℃、压力为 0.8MPa 的过热蒸汽，通过减温减压装置转换成为供回水温度为 60/50℃ 空调用热水，空调热水循环泵采用变频泵，并与一次蒸汽管道入口电动阀实现连锁控制。以适应系统负荷的变化，

3.2 空调水系统

全楼集中空调冷源水系统采用一次泵末端变流量两管制系统，为保障冷水机组在各种工况下均能安全、稳定地运行，确保冷源侧水量恒定，在系统分集水器间设置压差旁通阀，内外区水系统管路分别从冷冻站、热力站处引出，并按建筑使用功能及设备系统功能进行分环设置，对于冬季需供冷的内区空调系统，当室外空气湿球温度低于 5℃ 时，采用冷却塔供冷模式^[5]，高于 5℃ 时，则启动集中空调冷水机组供冷。

对需 24 小时运行空调的系统机房、网管、指挥大厅等关键区域，单独设置环路。

3.3 系统设备用房及备用电源室空调系统设置

3.3.1. 控制中心系统设备机房涵盖：控制中心系统设备机房、票务清算中心系统通信机房及指挥系统设备机房、备用电源室和一卡通等设备机房。

3.3.2 设计标准

依据各线路相关专业提供的系统设备运行要求，其系统设备机房环境空调设计参数见表 1。

表 1 通信信号系统设备机房设计参数

	夏季	冬季	全年
机房温度	23±2℃	20±2℃	18～28℃
机房相对湿度 ϕ	45～65%	40～70%	
温度变化率	<5℃/h 时，确保不结露		
含尘量	≥ 0.5 μm 的尘粒 < 18000 粒/L		

3.3.3. 系统设备机房特性分析：

1) 显热占比高，潜热相对低

机房内各设备在运行期间散热量大，且基本上是 24 小时不间断运行，设备本身无散湿，房间内散湿量主要源自送入的新风（室内微正压）及维护管理人员的散湿量。

2) 焓差小，风量大

由于设备散热约 96% 左右为显热，散湿量较小，热湿比近似无穷大。为消除余热，需提供大量送风，其换气次数高达 55 次/小时左右。

3) 气流组织方式独特

空调送风通过架空地板上的送风口进入机柜，冷空气从机柜底部进入，形成自下而上气流组织模式，冷空气冷却设备后，温度上升的空气从机柜顶部风口排出，此种气流组织能迅速有效的冷却设备，使设备安全稳定运行。

4) 空调系统配置

轨道交通系统设备一旦投入运行后，便需要全年连续不断运行，由于设备发热量大，空调设备亦需要随设备同步连续运行。根据系统设备机房空调负荷显热大、潜热小的特性，并考虑一定的备用容量，为确保系统设备安全稳定运行，专用空调设备采用机组备用模式（即 N+1 台备用）。

3.3.4. 系统设备机房及备用电源室空调系统

针对设备机房环境需求的特性，本项目空调系统采用机房专用空调加新风系统相结合的方案，以适用系统设备机房显热大（高风量）、潜热小（低焓差）的送风要求，空调机组配置加湿、加热、地湿报警及温湿度恒定自动控制系统，送风采用机组下送风至地板静压箱内，空调冷风通过静压箱从机柜下部风口送入，顶部回风的气流组织方式。

在沿机柜布置方向应将专用空调机组保持一定的间隔距离，以便维持静压箱内保持一定的均匀静压值，并适当控制送风距离。送风口布置亦应保持一定距离设置。为应对 14 条线路逐步入驻的要求，各线路设备系统机房亦预留一套新风系统，以维持设备机房内 +10Pa 的正压及维护人员的新风要求。

鉴于网管及配线间经常有人长期停留，室内直接设置机房专业空调噪声较大，不符合长期有人停留环境的噪声要求，因此，对于此类用房，本项目采用设置一次回风全空气处理机组，机组按不低于70%新风配置，以便在过渡季增大新风量以实现达到节能目的，同时配备对应的排风系统。

3.4 调度大厅空调系统

3.4.1 本项目设计中，调度大厅空调系统的设计占据核心地位。该大厅作为轨道交通14条线路共用的指挥调度中心。其建筑设计呈现扇形结构，内部直径达63m，高度为14m，建筑面积约为2300 m²。大厅地面采用静电架空地板，地板下方空间高度介于600~1200mm之间，静电架空地板内敷设有各线系统设备强弱电线槽。从建筑布局上，大厅由两部分构成，即大厅主体与大屏幕环形检修通道，二者从建筑处理上实现物理分隔，环形检修通道宽3m，大厅净高介于6~7m之间。鉴于大屏发热量大且热量分布于检修通道内，空调系统设计采用了将大厅与环形检修通道独立处理的策略。

3.4.2 调度大厅是工艺设备和工作人员的共用空间，两者对环境参数有不同的要求。大鉴于调度员长时间处于静态工作坐状态，对工作区域内的风速有着严格的要求，夏季应维持0.15~0.25m/s；冬季则为0.15~0.20m/s。此外，调度大厅内的显示大屏为关键设备，其运行可靠性对环境条件极为敏感，为降低其出错率，其场地环境必须保证符合特定标准^[5]。依据《指挥中心大屏幕显示系统场地环境要求》，显示大屏的最佳工作环境温度范围应为17~27℃，且显示墙前后温差应控制在5℃以内，相对湿度不超过80%，洁净度等级要求达到10万级^[6]。具体设计参数见表2。

表2 大厅空调设计参数

房间名称	室内温度℃		相对湿度%		新风标准	噪声值
	夏季	冬季	夏季	冬季		
调度大厅	24	20	45~65	≥40	40	40
检修通道	25	20	55~65	≥40	+5Pa	

在设计标准确定后，空调负荷主要由围护结构、照明基本稳定负荷，人员、设备等相对动态负荷以及引入的新风负荷构成，采用国家认证的设计计算软件进行计算，即可获得调度大厅的空调负荷。

3.4.3 空调系统设计

1) 对于大厅内部，除屋面构成外围护结构外，其余部分均属于空调内区。该区域的主要空调负荷主要源自人员、设备及照明，其中人员密度相对稳定，且活动量较小。鉴于大厅为高大空间，空调系统设计需确保下部区域（一般是距地面2m范围内）的温度和湿度得到精准控制。

2) 基于大厅使用功能特性及空调负荷对空间的影响的考量，本项目空调系统采用全空气二次回风地板送风系统（UFAD）作为空调系统方案，大厅空调送风采用通过架空防静电地板的地板旋流风口下送风上回风的气流组织方式。送风方式符合置换通风原理，具有较高的通风换气效率。地板旋流风口采用FB-200型产品。鉴于轨道交通线路分阶段投资建设特点，空调系统采用分线设置空调机组，各线路分别配置一台全空气机组，空调系统根据线路进驻分期投入，以实现空调系统的节能目标。最小新风量按人员新风标准及维持室内+5Pa正压值，取两者中较大值，为实现更高的节能效益，空调机组新风量的控制采用可变新风比方式，并根据新风比的变化设置相应的变频风机排风系统。

3) 为确保室内人员基本的热舒适度及空气质量

标准要求，满足以下设计标准，室内距地0.1m处标准的送风温度^[7]，夏季 $ts_{\min} \geq 22^{\circ}\text{C}$ ，冬季 $ts_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ；室内温差和温度梯度：人员头部与脚踝处空气温差 $\Delta Th_{f} \leq 3^{\circ}\text{C}$ ，活动区最大温度梯度 $\Delta T_{\max} \leq 2^{\circ}\text{C/m}$ ；人员长期停留的区域，人脚踝处风速 $v \leq 0.2\text{m/s}$ ^[8]。

4) 为满足上述设计标准，提高送风温度，同时满足系统的节能效益，大厅空调系统采用二次回风全空气系统。空调系统分区域配置六台组合式空调机组来实现。相应地，设置了四台排风机，以便在换季时段采用全新风模式时，通过排风机进行排风，排风量的确定按保证大厅维持正压要求选取。大厅空调地板送风口的布置平面如图1所示，而大厅空调系地板送风口的剖面示意则如2所示。送风口的布置遵循区域静压箱的风量均匀分布原则，并特别注意避免与控制台的冲突。

3.4.4 大厅空调系统控制

1) 温度控制：当水管输送冷水（夏季）或热水（冬季）时，通过回风温度与预设定值比较，采用比例积分控制策略，输出相应的电信号控制电动两通阀的开启程度，进而调整水流量，确保回风温度维持在既定的适宜区间内。

2) 冬季湿度控制：通过回风湿度与预设阈值比较，当回风湿度低于预设阈值5%时，开湿膜加湿器；反之，当回风湿度高于预设阈值5%时，关湿膜加湿器；回风湿度介于设定值±5%的区间内，则维持湿膜加湿器的当前开关状态。采用此策略以调节加湿量，确保回风湿度维持在目标范围内。

3) 二次回风量控制：通过调节一次回风与二次回风管路中的电动风阀，实现送风温度与设定温度偏差不超过4℃。

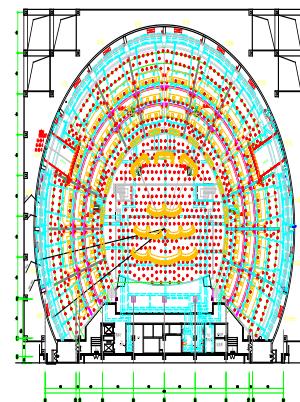


图1 大厅空调地板送风口布置平面图

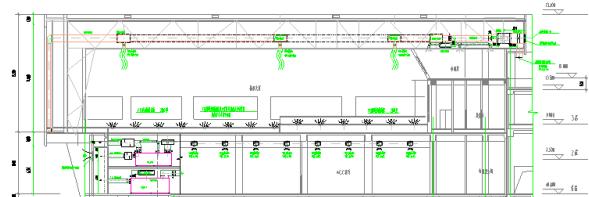


图2 大厅空调系地板送风口剖面示意图

4) 夏季除湿工况：在夏季，当回风湿度较高时，通过回风湿度调节电动两通阀的水量，同时利用回风温度控制二次回风阀的开度，以实现除湿和温度调节的目的；二次回风阀的调节范围设定为0~35%。

5) 新回风阀的控制策略：在夏季和冬季工况下，依据室外温、湿度计算得到的焓值，与回风温、湿度设定值计算得到的焓值进行比较^[9]，采用比例控制方法

调节新回风比, 新风最小开度设为35%。在换季时期, 若室外焓值低于室内计算焓值^[10], 通过比较回风温度与设定值, 运用比例积分控制策略调节新回风比, 进而将回风温度维持在设计标准范围内。

6) **季节转换点的设定:**采取手动设定和自动控制设定两种模式实现, 功能切换以手动设定为主。

a. **手动设定模式:**在空调系统水管供热水的情况下, 定义为冬季工况; 在空调系统水管供冷水的情况下, 定义为夏季工况; 在空调系统水管既不供冷也不供的情况下, 定义为过渡季节工况。b. **自动设定模式:**当室外新风焓值超过室内空气设定焓值时, 判断为夏季工况(室外温度大于26℃); 当室外新风焓值介于空气设定焓值与机器露点焓值时, 判断为过渡换季工况(16℃ < 室外温度 < 26℃); 当室外新风焓值低于机器露点焓值时, 判断属于冬季工况(室外温度小于16℃)。

7) 在冬季工况下, 若水阀调节到最小开度(即10%)后, 回风温度仍显著高于设定值时, 应考虑用室外低温空气进行降温。此时, 应通过回风温度来调节新风与回风的比例, 同时将二次回风阀调整至最小开度。

8) **为实现防冻保护:**将防冻开关设定阈值设定为5℃, 一旦防冻开关被触发, 系统将执行停机保护措施, 包括新风密闭阀关闭并全开水阀。同时, 系统发出报警信号, 提示操作人员进行检查。

9) **控制中心、票务清算中心及指挥中心大厅的环境控制参数设定为:**夏季温度为24℃, 湿度为45~60%; 冬季温度为20℃, 湿度为4~60%。

10) **房间微正压控制:**为维持房间内的微正压状态, 需根据空调运行状况及新风量进行计算, 进而控制排风机的起停台数, 确保新风量略大于排风量, 以保持大厅内的微正压环境。

3.4.4 大屏背投室通道空调设计

依据大屏幕显示系统工艺专业要求, 大屏适宜的环境温度范围为17℃~27℃。大屏距地面高度为1200mm, 垂直高度为3600mm, 其中OCC大屏幕包含14条线路, 每条线路由18个显示单元组成, TCC大屏幕则由39个显示单元构成。每个显示单元热释放量为1110BTU/h, 该空间空调系统采用VRF空调方式, 室内机为双面出风型。鉴于该空间为内区, 且显示屏为发热设备, 持续24小时运行, 该通道空间需全年供冷, 然而, VRF系统在室外温度低于-5℃时无法制冷, 因此, 在该空间额外设置了一套全新风通风系统。通风系统的风量根据VRF空调系统在无法制冷工况(即室外温度为-5℃)时消除室内余热的需求进行计算。通风系统通过楼宇自动化控制系统实现切换, 当室外温度降至VRF空调系统无法制冷的工况时, 系统自动切换至通风模式^[11], 以实现通道内设备系统的降温, 确保设备的正常运行, 并同时实现节能效果。

3.5. 其他区域空调系统

3.5.1 针对建筑功能及使用功能特点, 有对人员长期停留的办公等用房, 空调系统采用风机盘管加新风的空调系统方式, 同时设置集中热回收空气处理机组。

3.5.2 对于成果展示厅、门厅、员工餐厅等区域, 空调系统采用全空气一次回风空调系统, 空调机组按70%全新风配置, 同时配备对应的排风系统, 以适用过渡季节的室内通风需求, 以达到最佳节能效果。

4. 其他

4.1 采暖系统

本项目在门厅设有低温热水地板辐射采暖系统, 旨在提升在门厅内长期停留人员的热舒适性。

4.2 通风系统

依据各机电设备房间通风换气要求, 本设计采用自然通风、机械通风相结合的综合通风策略。

4.3 防排烟系统

消防设计遵守国家现行相关消防技术规范及标准要求进行设计^[12], 对设有气体灭火系统的房间, 通风系统设计了气灭后的事故排风系统, 气灭后的事故排风量按5次/h换气设计^[13]。

5. 结语

在项目竣工验收并投入使用后, 针对逐步入驻的轨道线路系统设备机房采用风冷型机房专用空调系统方式, 与本项目的轨道交通的需求高度契合。在部分线路先行入驻并进行通信信号设备的安装与调试期间, 尽管整个大楼的冷水系统尚未启动, 独立于集中空调系统的机房专用空调系统依然能够满足系统设备房间的运行需求, 保障设备的安全运行。

控制大厅空调系统启动后, 经测试, 室内空调环境效果达到了设计标准要求, 使用方对空调效果表示满意。鉴于有14条线路逐步接入的特殊情况, 实现最有效的节能运行, 即确保空调机组达到安全、可靠、高效的运行状态, 还需要运营管理人在实际运行中采取必要的测试和技术手段来进行指导。这将有助于类似工程项目积累宝贵经验。

[参考文献]

- [1] 南京地铁流程式运营管理模式研究 [D] 曾晖 (导师: 韩震); 大连海事大学, 硕士(专业: 工商管理); 201
- [2] 北京城建设计咨询走向规模化 [Z] 首都建设报; 2013-06-19 (版次: 04 版)
- [3] GB50157-2013 地铁设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社. 2009
- [4] 缪昌华, 张越, 高扬; 基于BIM的大型机电设备安装就位施工技术 [J]; 2022, 38(1): 44-48
- [5] 王会鹏, 刘佳, 肖传德; 城轨控制中心调度大厅空调系统设计浅谈 [J]. 建筑热能通风空调. 2016, 36(8): 102-105
- [6] 肖传德. 杭州地铁控制中心暖通空调设计 [J]. 暖通空调, 2014, 44(3): 72-75
- [7] 办公、家庭用置换通风空调器原理与设计 [C] 魏京胜, 中国矿业大学江苏徐州 221116, 黄炜, 中国矿业大学江苏徐州 221116, 徐梁, 菏泽市市政工程管理处山东菏泽 274000, 张红英, 中国矿业大学江苏徐州 221116; 《全国暖通空调制冷 2008 年学术年会》; 2008-11-0
- [8] 地板送风设计指南 [M] 鲍曼(Bauman. F. S. 著; 杨国荣等译; 中国建筑工业出版社 2006
- [9] TSZY132181021020706186 [OL] 2018-12-31
- [10] 季红玲. 工业厂房大型组合式空调系统节能方案探讨 [J] 《制冷与空调》; 2013, (11): 73-76, 50
- [11] 城市文化中心绿色建筑设计及实现浅析 [C] 陈洪根, 中国建筑第五工程局有限公司; 龚铁钾, 中国建筑第五工程局有限公司; 《第五届夏热冬冷地区绿色建筑联盟大会》; 2015-10-23
- [12] 怎么提高超高层建筑设计 - 贤集网 [OL]; 2022-01-0
- [13] GB50370-2005 气体灭火系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社. 2005

作者简介: 肖璇(1991-)女, 汉, 湖南, 研究生, 工程师, 研究方向: 暖通专业设计。