

文章编号: 1671-6612 (2019) 02-183-05

上海国际金融中心地板送风空调系统分析报告

姜秀鹏

(上海冠丰房地产发展有限公司 上海 201100)

【摘要】 由于常规吊顶送风空调系统具有卫生条件欠佳、维护管理不便、耗能较大、气流组织不良、空间重新分隔困难等弊端,近年来在欧美国家越来越多的办公楼采用一种新的空调送风系统:地板送风式置换通风系统。相对于常规吊顶送风空调系统,地板送风系统具有较多优点,因而,在国内也逐渐得到运用。

【关键词】 高层建筑;地板送风;暖通空调;设计要点;热舒适性
中图分类号 TU8 **文献标识码** A

Analysis Report on Underfloor Air Supply Conditioning System of Shanghai International Financial Center

Jiang Xiupeng

(Shanghai Guan Feng Real Estate Development Co., Ltd, Shanghai, 201100)

【Abstract】 Because the conventional ceiling air conditioning system has the drawbacks of poor sanitary conditions, inconvenient maintenance, energy consumption, air and space to separate adverse tissue difficulties in recent years, a new air conditioner used in more and more countries in Europe and America Office underfloor air supply system: air displacement ventilation system. Compared with the conventional ceiling air supply air conditioning system, the floor air supply system has many advantages, so it is also used gradually in China.

【Keywords】 High rise building; Underfloor air supply; HVAC; design points; thermal comfort

0 引言

建筑的核心部分就是暖通空调,暖通空调的应用可以对房屋内部的温度进行调节,从而改善人们的生活条件,因此在建筑中被广泛应用。但是建筑暖通空调系统形式选择不当会导致在使用过程中会消耗大量能源,严重增加建筑工程的成本,基于此,本文根据实际项目对建筑暖通空调系统形式之一地板送风的设计要点进行详细探讨。

1 地板送风系统的特点

地板送风是利用结构楼板与架空地板之间的空间做为静压箱,经处理的空气被送入地板静压箱后通过地板散流器(地板风口)送到室内空调使用

区域内(约 1.8m 高),与室内空气发生热交换并形成空气分层后从吊顶(不需要回风管)或房间上部的回风口直接排出。

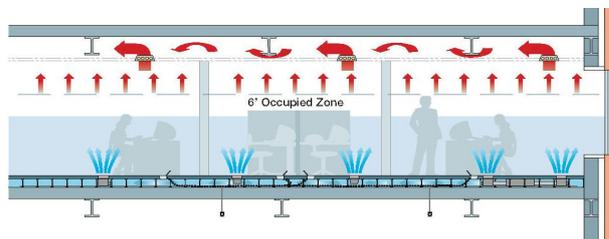


图 1 地板送风系统气流示意图

Fig.1 Air flow diagram of the floor air supply system

相对常规空调送风系统,地板送风系统具有以下独特的优点:

1.1 地板送风大幅改善热舒适性

地板送风的风口布置靠近使用人员，几乎每个人均可以根据自己的感受而对风口进行风量和送风方向的调节，使得每个人的空调小环境均可被调整和控制，个人环境的热舒适性大大改善。

而常规吊顶送风系统，由于其风口设于吊顶上，使用人员很难进行风量调节。

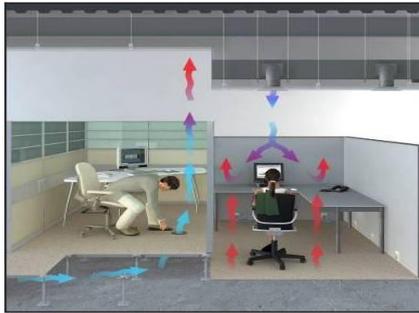


图2 地板送风系统气流热流向图

Fig.2 Air flow thermal flow chart of the floor air supply system

1.2 地板送风提升了空气的品质

地板送风由于采用地送顶回，空气中的大多数污染空气均集中在高于呼吸区的顶部回风的位置；地送风的地板风口布置靠近大多数使用人员（基本上每个人或几个人一个），新风直接送入人员活动区域，几乎每个人呼吸到的均是新鲜空气。

而常规空调采用吊顶风管送风，处理好的空气先经过顶部污染空气层，再送至人员工作区域，造成二次污染。

1.3 地板送风节约空调能源

(1) 地板送风重点考虑空调使用人员区间的舒适性（约1.8~2m高度），室内空间形成空气温度分层；相比顶送风空调系统，室内空间的温度理论上完全相同时，能够节约相当比例的能耗。

(2) 地板送风的送风温度（17~18℃左右）比顶送风的送风温度（13~15℃）高出约4~5℃，制冷效率大幅提升，可以节约大致超过20%的制冷能耗。

(3) 地板送风系统采用低静压送风，整个空调系统的压力值相比顶送风低很多，可以节约大致20%的风机能耗。

(4) 由于较高的送风温度，在过渡季节可以利用的室外新风进行免费制冷的时间也大幅增加。

综合而言，地板送风系统大致能够节约20~

30%的空调能源，大致相当于整个建筑能耗的约10~15%。

1.4 室内空间分隔调整便捷

采用地板静压箱送风，基本上没有风管；地板风口直接安装于可以随时移动的架空地板块上，因此在空间布局和房间间隔需要调整时可以随时变动风口的位置，调整及其简便。

对于常规吊顶送风系统，风口基本上是固定设置，如果要根据空间分隔调整风口，需要破坏吊顶，关掉空调系统，拆除风管，工作量较大。



图3 空间分隔1

Fig.3 Space separation 1

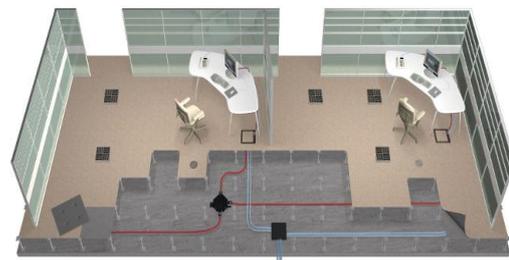


图4 空间分隔2

Fig.4 Space separation 2

1.5 节约建筑层高

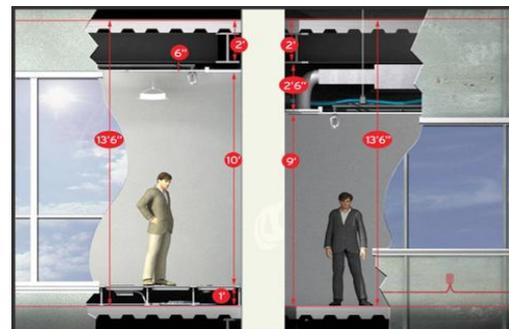


图5 地板送风与吊顶送风高度比较

Fig.5 Comparison between floor air supply and ceiling air supply

大多数地板送风静压箱高度一般为400~500mm高（地板完成面），由于基本没有送回风管

和排风管；且几乎所有的强弱电管线均可以布置在架空地板下，因此吊顶高度只需考虑少量喷淋和灯具的位置（甚至也可以不用吊顶），因此可以较多的节约楼层高度；如果项目中原本已经考虑采用架空地板（通常120~200mm高）则节约的层高更多。

1.6 风管清洗消毒便利

任何空调送风系统，在长时间使用后，其风管中很容易堆积灰尘，甚至风管中发现老鼠、昆虫。有时由于施工管理不严，风管中存在大量的建筑垃圾，甚至发现安全帽、手套等。对于常规吊顶风管送风系统，由于吊顶内管道较多，风管垃圾清理、灰尘清洗异常困难，从而成为空调病菌的滋生地，严重影响人员健康。

而地板送风由于采用地板下空腔代替吊顶风管，只要掀开地板，就可很容易清除异物灰尘及清洗消毒。

2 地板送风空调系统容易出现的问题及解决策略

2.1 脚部冷感与吹风感

原因分析：出风口位置及风口风速、温度、风向等不合适是主要原因。

解决策略：典型的地板送风温度为17~19℃，送入使用空间后脚部的温度为22℃，因此完全不会产生“脚部冷感”。地板送风系统的送风压力较低（静压箱压力一般为12.5Pa），将风口风速控制在1m/s左右的风速，并采用扩散快的散流器风口，同时风口设有手动调风量阀门，可以自由的使用者根据其爱好调整送风方向和送风量，因此完全可以避免“吹风感”。只要保证空调箱温度控制系统正常工作，地板送风温度完全可以得到控制。

2.2 地板送风扬尘问题

原因分析：施工及运营管理中的不当操作使主要诱因。

解决策略：

施工时，地板空腔内应保证无垃圾，施工后进行吸尘，保证空腔内的干净。

空调箱设有粗、中效二级过滤器，灰尘过滤效率可达95%以上。送风管道、送风空腔在地板下，清灰吸尘容易。

相对吊顶送风系统2~4m/s的送风风速，地板送风口风速在1m/s左右，任何肉眼可见甚至有些

不可见的尘埃均不会被送风吹起来。

漂浮在空气中的游离物，由于下送上回的气流方式以及呼吸区域和房间上部温差形成的热羽效应均集中在顶部靠近上部回风区域。传统顶送风是在混合了被污染的空气后再被使用者所呼吸到的，而地送风则因为使用者均比较接近于地板送风所送的新风，因此室内空气质量相比有大幅改善。美国CBE（建筑环境中心，加州大学伯克利）对加州萨克拉门托市市政公用大厦（完成于1996年，19320m²）进行的5年追踪调查显示在大厦中工作的人员因为空气质量相关的病休缺席比通常平均数降低30%。

同时，在空调运行时，规范不允许开启外窗，以免造成能源浪费，影响室内的温度。空调系统已充分考虑人员的新风需求，新风标准超出国家规定的30%左右，而且新风量可以根据室内二氧化碳浓度进行调节。

2.3 空调效果不佳，冷热不均

原因分析：地板空腔密封不严，产生漏风或地板温升太大。

解决策略：

（1）在玻璃幕墙边的外区采用带供冷/供热盘管的空调末端，夏季供冷，冬季供热，完全承担围护结构的负荷，保证玻璃幕墙区域的空调效果；

（2）从机房出来的送风风管采用保温成品风管，解决温升问题；

（3）施工时地板空腔严格密封，并进行泄漏测试，解决漏风问题。

（4）空调系统投资价格控制问题

由于地板送风系统需要采用架空地板以构筑地板静压箱，因此在较早时期，地板送风系统被视为一个比较贵的系统。但是在今天，由于电脑和IT设备的普及，要求各种管线的布置灵活，并可随时方便的调整，已经使得架空地板成为几乎所有的甲级甚至乙级办公项目基本必须采用的设备，地板送风系统已经不再是一个遥不可及的高造价系统。考虑到地板送风系统带来的低运行能耗；低空调维护和清理成本；建筑层高的节约和项目价值的提升，地板送风已经完全转变成一个可以为业主带来更多价值和利益的系统。

对于建筑面积1000m²办公区域，常规的VAV变风量系统，其造价构成为：①空调系统投资约为

500 元/m²，总计为 50 万元；②网络架空地板造价按国产 200 元/m²，总计为 20 万元；③一般采用卧式空调箱，空调机房面积约 30m²，机房土建造价约为 30 万元（按 1 万元/m² 计算）。总价格约为 100 万元。

地板送风系统其造价构成为：①空调系统投资约为 650 元/m²，总计为 65 万元；②网络架空地板造价按国产 300 元/m²，总计为 30 万元；③由于采用了立式空调箱，空调机房面积仅需 20m² 左右，空调机房土建造价约为 20 万元（按 1 万元/m² 计算）。总价格约为 115 万元。

因此，与常规 VAV 变风量系统比较，地板送风系统总体造价略高一些。

3 地板送风空调系统的应用

地板送风在世界各地尤其是北美已经被较广泛的应用于办公；文娱（学校，图书馆，剧院，）；展示；公共建筑；护理（病房）；政府和商业建筑中；从节能角度讲越是层高比较高的建筑，采用地板送风得到的节能效果越好。

表 1 是美国使用地板送风系统的统计数据。

表 1 地板送风系统的统计数据

Table 1 Statistics of the floor air supply system

年份	美国采用架空地板的 办公室面积/m ²	采用地 送风比例
2002	16,492,000	1%
2003	16,896,000	16%
2004	16,524,000	40%
2005	16,672,000	44%
2006	17,992,000	44%
2007	21,552,000	58%
2008	25,500,000	66%

最近十年来，地板送风系统在中国使用的实例越来越多，比较成功的案例有：

- (1) 北京微软亚洲研究院总部大楼；
- (2) 成都赛门铁克研发中心楼；
- (3) 上海财富广场；
- (4) 上海港国际客运中心。

4 地板送风系统设计和实施的关键点

地板送风空调送风系统成功的关键与设计、施

工、运行管理等建筑活动三个环节紧密相关。通过以下各阶段相关措施的认真落实，地板送风空调送风系统的顺利实施及运行将得到根本的保障。

4.1 设计环节

在设计中，我们已经采取了以下措施：

采用国内经过认证的专用空调负荷计算软件进行空调负荷的精确计算，确保室内所需的空调负荷。

空调箱至办公区域的主风道采用低漏风率的成品保温风管，风管外层为镀锌钢板，有效的保护风管，降低了地板温升。

在玻璃幕墙边的外区采用带供冷/供热盘管的空调末端，夏季供冷，冬季供热，完全承担围护结构的负荷，保证玻璃幕墙区域的空调效果，解决了远端空调效果不佳的问题。

(1) 地板风口带有可调节风量阀门，可以根据需要调节风速和风向。地板风口设计风速为 1.0m/s 左右，改善吹冷风感问题。

(2) 立式空调箱自带送风消声器，顶部回风管及地板送风管局部采用消声风管，以确保室内的安静。空调箱带有粗、中效过滤器，可有效的过滤室内空气中的灰尘，确保室内空气的洁净。

采用简单可靠的空调自控系统，保证系统的所需的送风温度与送风量。

4.2 施工环节

要确保地板送风系统的设计效果，施工质量是关键。国内一些项目的失败，大多是施工质量没有控制好。特别是地板空腔的密封性不佳，漏风严重，造成室内空调风量不足。

因此，我们将对施工过程的质量控制提出严格要求。主要要求如下：

(1) 密封设计：和建筑师一同在发出施工图前回顾本项目的相关规定规范和构造节点详图。

(2) 投标前：要求有地板送风施工经验的承包商参与投标。

(3) 开工前：进行工程交底，以明确地板系统相关的密封要求。

(4) 样板：对于典型楼层根据施工图将建造地板送风系统的样板，并进行查验和测试。

(5) 质量检测：在整个施工过程中，施工监理经常进行相关的查验和检查工作以确保实际施工符合施工图的要求。

(6) 测试：邀请第三方对于地送风空调的风道空间进行检测，以确认系统是否符合 1 类和 2 类空气泄漏要求。

4.3 运行管理环节

(1) 二次装修时，空间的重新分隔应确保不破坏地板空腔的密封性。

(2) 空调运行时，应禁止开启外窗，以避免室外灰尘进入室内，影响室内空调效果。

(3) 经常检查地板空腔内的清洁状况，进行必要的地板清扫。

(4) 对空调箱等设备进行日常的维护保养工作。

5 上海国际金融中心地板送风系统应用状况

地板送风系统主要应用于本项目的塔楼办公、会议、会所等场所。地板送风系统由立式空调箱、送风道、架空地板空腔、地板送风口及外区直流无刷无级变速风机盘管构成。详见图 6 标准层布置图。

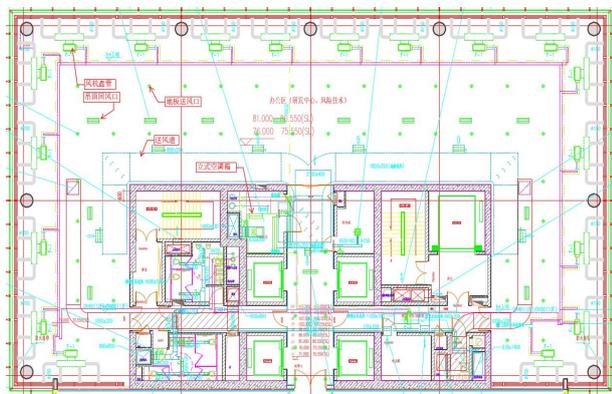


图 6 标准层布置图

Fig.6 Standard layer layout

5.1 造价比较

根据估算，上交所地板送风面积约 43100m²，中金所地板送风面积约 35670m²，中结算地板送风面积约 14230m²，总计约 93000m²。与普通 VAV 吊顶送风空调系统相比，地送风系统在设备及架空地板造价方面略有提高，但地送风系统对空调设备房间的需求可以大幅降低，从而大幅提高建筑使用效率。初步造价比较数据如下：

(1) 设备、安装等费用增加：与普通 VAV 吊顶送风空调系统相比，地送风系统在设备

及系统方面单价增加约 150 元/m²，架空地板系统单价增加约 100 元/m²，整体造价增加约 2325 万元。

(2) 空调设备机房节约：与普通 VAV 吊顶送风空调系统相比，地送风系统对办公层空调设备机房需求可有一定压缩，总计可节省约 1500m² 的设备机房面积，从而有效提供办公面积使用效率。

5.2 收益比较

(1) 地板送风空调箱风机耗电量低于 VAV 吊顶送风空调箱，地板送风空调箱台数为 122 台，风机每年节约约 149.5 万 kWh（每年运行天数为 250 天，每天 10h 计算），电价按 1.1 元/kWh 计算，每年节约电费约 164 万元。

(2) 地板送风空调箱送风温度为 18℃，吊顶送风空调箱送风温度为 15℃左右，因此地板送风空调箱所需的冷冻机冷水温度可以比吊顶送风空调箱高 2℃左右，冷冻机效率提高 10%。空调负荷按 14736kW 计算，供冷天数为 150 天，冷冻机每年节能电 27.6 万 kWh，系统每年节约电费约 30.4 万元。

(3) 节约的机房面积日租金按目前上海证券大厦报价 7 元/平方米计算，全年租金收益为 383.3 万元。

5.3 投资成本

综上，从投资收益角度，采用地板送风空调系统，项目建成后全年总收益约 577 万元。按系统总体投资增加 2325 万元估算，投资收益平衡年限约为 4 年左右。考虑今后电费上涨等综合因素，总体上预计 4 年内可以收回投资成本。

5.4 维护管理及后期变更调整

(1) 地板送风空调系统由于风管均敷设在架空地板内，对末端设备的日常维护管理非常方便，仅需要揭开地板即可。吊顶送风系统的风管、VAV 送风末端及风口均设于吊顶内，维护管理非常麻烦。

(2) 在项目使用阶段，地板送风空调系统末端风口位置的调整十分方便，这将极大方便后期由于使用功能或平面布局的调整时空调系统的同步调整，从而避免 VAV 空调系统在此方面的局限。

6 结语

建筑暖通空调系统设计方案的选择直接关系
(下转第 207 页)