

地板辐射供冷与地板送风混合式空调系统应用分析

夏学鹰¹, 王子介¹, 夏道明²

(1 南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042;

2 安丘市建筑工程质量监督站, 山东 安丘 262100)

[摘要] 随着地板辐射供暖的迅速推广, 地板辐射供冷的应用也得到了极大程度的关注。从地板辐射供冷与地板送风系统的特性分析出发, 提出了地板供冷与地板送风混合式空调系统的概念, 并对这一系统的水系统、风系统以及控制方式作了详细阐述, 给出了采用“踢脚”送风的空调系统原理图式。地板送风与地板辐射供冷的配套使用, 使得地板辐射用于夏季供冷具有了更高的可行性。通过分析, 以期能够推动地板采暖/供冷这一舒适节能的空调方式在更大范围内的推广。

[关键词] 地板辐射供冷, 地板送风, 置换通风, 露点

[中图分类号] TU 831.7 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2007)01-0041-05

Application Analysis of Radiant Floor Cooling Combined With Underfloor Air Distribution System

Xia Xueying¹, Wang Zijie¹, Xia Daoming²

(1 School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China

2 The Quality Supervising Station of Architecture Engineering in Anqiu, Anqiu 262100, China)

Abstract With the rapid popularization of floor radiant heating, the application of floor radiant cooling is strongly interested. From the feature analysis of the radiant floor cooling and underfloor air distribution (UFAD) was put forward and the combined system of radiant floor cooling and UFAD, and described the water system, wind system and control modes of the combined system, and presented the air-conditioning principle chart of air distribution system. The combined uses of radiant floor cooling and UFAD raised the feasibility of floor radiant in summer. Through the analysis, the author hope to promote the further use of radiant heating/cooling system in wider range.

Key words radiant floor cooling, underfloor air distribution, displacement ventilation, dew point

0 引言

目前, 随着地板辐射供暖技术的日益完善和迅速推广, 地板辐射供冷自 80 年代后也越来越多的得到了业内专业人士的关注。这一空调方式同时用于冬、夏两种工况, 将大大减少设备初投资, 提高使用率, 同时为住宅空调增加了一种全新的方式。但由于该系统用于夏季供冷时尚存在若干问题, 如: 地板结露问题, 供冷能力不足等等, 使这一系统在炎热潮湿地区的应用受到了极大的限制, 但如将地板辐射供冷与其他空调方式联合运行则可实现优势互补, 克服该系统存在的不足。本文针对地板辐射供冷的特点, 提出了地板供冷和地板送风混合式空调系统的概念, 并对这一系统的应用作了一定分析。

1 地板辐射供冷系统的特点

1.1 地板辐射供冷优点

(1) 地板辐射供冷具有辐射效应, 降低了围护结构内表面温度, 增加了人体的辐射换热, 无吹风感, 无噪音, 舒适性提高。

收稿日期: 2006-06-02

基金项目: 南京师范大学“十五”、“211”重点建设基金(843202534)资助项目。

作者简介: 夏学鹰(1977-), 博士研究生, 讲师, 主要从事空调节能方面的教学与研究。E-mail: sdxy@163.net

(2)地板辐射供冷采用较高的供回水温度(供水温度 10~ 18℃),提高了冷源的制冷效率,节能效果明显,这一特点为蒸发冷却、深井水、地热(冷)利用等节能冷源的使用提供了条件.

(3)冬、夏季共用一套室内系统,减少了初投资,提高了设备利用率,为热泵类装置的推广使用提高了条件,并扩大了地板辐射供暖的使用范围.

(4)地板辐射具有较高的蓄冷/热能力,可有效调节峰值冷/热负荷,减少机组容量.

(5)便于分户计量;减少了建筑物的使用空间;不存在“空调病”的问题,等等.

1.2 地板辐射供冷缺点

(1)结露问题,单纯的地板供冷系统当供水温度较低或室内湿度较高时,地板表面容易出现结露现象.另外,当门窗开启时,室外的热湿空气进入,接触到低温地板也容易结露.这就要求地板表面温度要高于室内空气露点温度,这一现象限制了地板供冷的使用范围.

(2)供冷能力不足,由于存在结露问题,供水温度较高,地板辐射承担的室内冷负荷的能力将受到削弱,甚至不能满足室内冷负荷的要求.一般情况下,地板与房间的对流辐射换热系数为 $7.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 左右,假定地板表面温度为 19°C ,房间作用温度为 26°C (相当于常规空调系统的设计温度 28°C),地板供冷能力约为 $53 \text{ W}/\text{m}^2$,这一供冷能力不能满足夏季炎热潮湿地区的供冷要求.

(3)不设新风系统时,室内空气品质要受影响,人体容易产生闷的感觉.

(4)启动时间较长,由于地板本身的蓄冷/热能力,在系统启动时,加热/冷却地板到设计温度需要较长的时间,与普通空调系统相比,启动时间较长.

针对上述地板辐射供冷的特点,在夏季炎热潮湿地区采用地板辐射供冷时,须有除湿及辅助制冷设备的配套运行,地板送风系统的存在可解决这一问题.地板送风空调方式利用室内架空地板下的空间用于布置送风管道或直接作为送风静压层,经过空调机组处理的空气通过布置于地板上的送风末端送入室内,与室内空气进行热湿交换后从房间上方的回排风口排出.地板送风系统既解决了室内新风问题,又大大降低了发生结露现象的可能性,新风的送入维持了室内一定的静压,阻止室外湿空气的进入,另外,风系统本身可承担一部分室内冷负荷和全部湿负荷,二者的结合提高了这一系统的供冷能力,完全可以满足一般建筑的负荷要求.

2 地板送风与置换通风在辐射供冷系统中的应用区别

描述从房间下部送风的空调系统中,有两种送风方式:地板送风系统(Underfloor Air Distribution, UFAD)和置换通风(Displacement Ventilation, DV),二者具有一定的相似性,均是从房间下部送风,形成热力分层,具有节能和提高室内空气品质的优势,从直观上来看,二者似乎没有很大区别,事实上,二者无论从概念上还是应用上都存在许多区别.因此,对这两种系统的特性区分清楚,是正确应用地板送风和置换通风的前提.

2.1 地板送风与置换通风的应用机理

图 1、图 2 是地板送风与置换通风的送风图式,地板送风从地面送出具有一定速度的空气,在向上流动过程中,与工作区的空气迅速混合进行热湿交换达到调节工作区温度的目的,在房间上部非工作区存在热力分层现象,但不十分明显;置换通风以低速的送风出流,气流类似层流的活塞流状态,气流主要依靠自身的浮升力向上运动,热力分层现象明显.

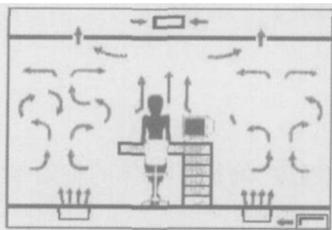


图 1 地板送风图式(UFAD)

Fig.1 UFAD figure

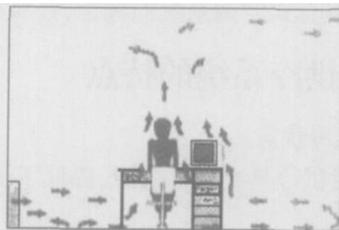


图 2 置换通风图式(DV)

Fig.2 DV figure

由此可见, 送风速度的大小是区别置换通风与地板送风的一个关键因素. 地板送风是混合通风出口风速降低到一定限度的产物, 这个限度就是工作区的高度, 地板送风风速一般可达 1 m/s 左右, 最高不超过 2 m/s ; 而置换通风则又是地板送风出口风速降低到一定限度的产物, 风速通常为 0.2 m/s 以下.

2.2 二者的主要功能及特性区别

2.2.1 功能区别

地板送风系统从功能来讲, 与传统的混合通风更具有相似性, 都是以温度控制为主要功能. 它属于传统的全空气空调系统, 以架空地板为气流通道, 通过送风控制室内温度场, 其通风换气性较置换通风差. 与地板送风不同, 置换通风是以通风换气为主要功能, 它更属于新风送风系统 (DOAS), 作为一种有效节能的新风系统, 仅承担极小的室内负荷.

2.2.2 特性区别

送风量与送风速度

置换通风采用 100% 新风, 送风速度低, 它可以在地板表面形成一层“空气湖”, 与地板供冷系统配套使用时, 用一层露点温度较低的比较干燥的空气将地板覆盖, 将可以阻止室外渗入的热湿空气与低温地板直接接触, 同时也可以保证采用较低的供水温度以满足室内冷负荷的需要. 但是, 由于置换通风出风量小, 风速较低, 相对于具有较大出风风速和风量的地板送风而言, 在防结露问题上, 置换通风效果稍逊于地板送风.

负担室内热湿负荷方面

从负担热湿负荷方面来讲, 地板送风系统要大于置换通风系统, 地板送风系统的出口风速较大, 一般可达 1 m/s 左右, 相对与置换通风须小于 0.2 m/s 要大的多, 因此在相同的出口面积下可以负担更大的冷量. 同时, 从送风温度上来看, 地板送风的送风温度可设为 18°C 或低于 18°C , 但考虑吹风感问题不应小于 15.5°C . 置换通风的送风温度较地板送风略高一些, 送风温差小, 因此, 负担冷负荷量也小.

由于地板供冷系统本身存在结露和供冷能力不足的缺点, 使其应用受到了一定限制, 通过上面对地板送风与置换通风的分析来看, 由于地板送风的风量和风速较置换通风要大, 在相同室内负荷条件下, 采用地板供冷与地板送风混合式系统的给水温度可比地板供冷与置换通风复合式空调系统更低. 地板供冷与地板送风二者的结合, 可以很好地解决地板供冷存在的问题, 并充分发挥地板送风的优势, 二者可实现优势互补. 通过地板送风系统送入的空气, 可以降低室内空气露点温度, 另外, 地板送风系统还可以很大程度上承担一部分冷负荷和全部湿负荷. 地板供冷与地板送风混合式空调系统既解决了冷地板结露问题, 又加大了地板辐射系统的供冷能力, 还仍能保持辐射地板供冷室内温度均匀的优点.

3 地板供冷与地板送风混合式空调系统的应用

3.1 负荷分配和风量计算

地板供冷与地板送风混合式空调系统必须考虑如何进行负荷分配问题, 由二者的特点, 地板送风系统应负担如下负荷: 系统启动阶段为避免地板表面结露而除湿所必需的冷负荷 Q_1 ; 系统正常工作时由于地板供冷冷量不足需补充的冷负荷 Q_2 ; 新风负荷 Q_3 . 而辐射埋管承担系统稳定以后室内的部分设计冷负荷. 地板送风系统工作区的风量应根据新风负荷 Q_3 与除湿负荷 Q_1 、补充冷负荷 Q_2 之间最大值来确定, 即: $Q = Q_3 + \text{MAX}(Q_1, Q_2)$. 对于室内空气参数均匀统一的通风系统而言, 在稳定状态下, 房间负荷与风量之间存在如下关系: $Q = G\Delta h = G(h_N - h_o)$,

式中, Q 为房间负荷 W ; G 为送风量 $\text{L}(\text{kg/s})$; h_N 为室内空气比焓 $\text{L}(\text{kJ/kg})$; h_o 为送风空气比焓 $\text{L}(\text{kJ/kg})$.

而对于地板送风系统而言, 由于热力分层的存在, 非工作区温度要高于工作区, 在热力分层以上的对流性热源的散热量不会进入工作区, 直接从回风口离开, 因而可降低冷负荷. 因此为了准确计算地板送风系统风量, 需要分别确定工作区与非工作区的负荷, 然后根据以下简化数学模型计算地板送风系统的总风量: $Q_g = G(h_1 - h_o)$, $Q_{fg} = G(h_2 - h_1)$, $Q = Q_g + Q_{fg}$

式中, Q_g 为工作区负荷 W ; Q_{fg} 为非工作区负荷 W ; h_1 为工作区空气设定焓 $\text{L}(\text{kJ/kg})$; h_2 为室内回风空气焓 $\text{L}(\text{kJ/kg})$.

3.2 系统形式

3.2.1 水系统

在确定地板供冷与地板送风混合式空调系统的水系统之前,必须明确末端区域对空调水系统设计参数的相关要求,这些包括: a)冷、热水供回水温度; b)系统冷热量要求; c)不同季节末端空调系统运行模式等等.对于地板供冷系统,夏季要求的供水温度较高,供回水温度可为 16/20℃,对于地板送风系统,需要较强的除湿能力,供回水温度为 7/12℃.由此可见,由于地板辐射供冷水温要求较高,而地板送风系统要求给水温度较低,为了提高制冷效率,地板供冷与地板送风水系统可采用串联连接.串联连接的优点是冷水进入新风处理机组升温后进入辐射地板埋管,从而可同时满足风系统低水温要求和辐射地板供水温度不宜过低的要求.但是由于串联连接采用三通比例调节阀等调节附件,总投资较大.而并联连接时,为防止地板进水温度过低,必须设置混水管,地板供冷与地板送风系统分别设置独立的循环水泵.

3.2.2 风系统

考虑到空调系统控制的灵活性、地板夹层的高度限制、房间分区面积范围等,对空气处理机组的要求为中小容量,占地面积要小(立式),而功能和控制要求完善,目前常用的地板送风空气处理机组有超薄型普通功能的地板送风 AHU 机组,设有热回收器的地板送风机组两种.为了节省能源,机组常采用设置窗际排风系统对新风进行预冷—排风热回收机组,采用这一方式的新风夏季处理过程如图 3 所示.

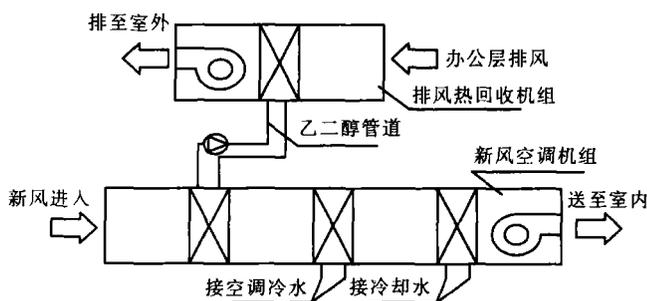


图 3 热回收机组

Fig.3 Heat-recycle units

经新风处理机组处理后的空气通过竖向送

风立管送至房间的架空地板空间,通过架空地板上开设的新风口送入室内,这种送风方式有如下优点: a) 房间架空地板内管道较少,有利于设计布置.同时利用各房间的架空地板空间作为新风送风静压层,利于送风口的变动; b) 新风从地面送入,采用地板送风的概念和设计原则,加上窗际排风系统的共同作用,既有利于房间冷负荷消除,又因为新风直接送到人员活动区而有利于房间舒适性; c) 新风送风温度采用 18℃,与地板表面温度差不多这样架空层相当于绝热层,有利于提高地面的辐射供冷能力.为了描述地板供冷与地板送风混合式空调系统的送风型式,笔者引入了“踢脚”送风的概念,“踢脚”送风方式如图 4 所示.

地板供冷与地板送风混合式空调系统原理图如图 4 所示:

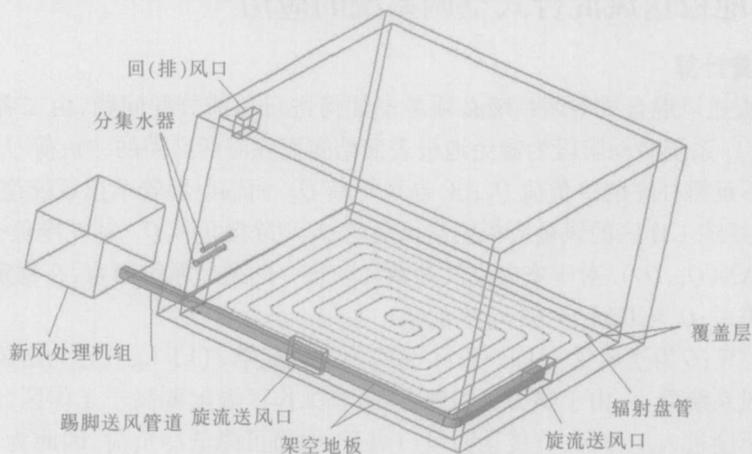


图 4 地板供冷与地板送风空调系统原理图

Fig.4 The principal figure of radiant floor cooling combined with underfloor air distribution system

3.3 控制方式

地板供冷与地板送风空调系统采用专门的房间多功能控制器,根据房间设定温度、房间实际温度、地

板温度和房间湿度, 自动调整房间新风量和分水器冷水流量大小, 调节室内湿度和温度, 并保持露点温度始终在地板温度以下, 杜绝了地板结露的产生。

(1) 一般的控制器是检测空气露点, 调整进水温度来保证冷水温度在空气露点温度以上来解决结露问题, 因此, 进水水温较高。比如 20℃, 所以地板辐射供冷的速度和冷量较小, 不适用于围护结构保温不好的建筑。专用多功能控制器不关心给水温度, 而是调整新风量来调节露点, 所以冷水温度可以比较低, 以加速制冷和加强辐射制冷效果。

(2) 一般的控制器是对整个分水器进行控制, 所以只能对这个区域进行温度控制, 而专用多功能控制器可以单独控制每个房间温度。

(3) 一般的控制器控制房间湿度困难, 而多功能控制器可以控制可设定湿度, 带有强大的除湿功能。

(4) 该控制器还可以提供和调节新风量。

4 结语

地板辐射供冷作为一种节能、舒适性高的新兴空调方式具有许多优点, 但也存在一些应用上的问题, 如结露问题、供冷量不足、卫生条件较差等, 为了更好的应用这一系统, 需要有除湿及辅助供冷设备与其配套使用。而地板送风与地板供冷相结合的混合式空调系统可解决上述问题。本文从地板供冷与地板送风两套系统的特性分析出发, 分析了地板送风与置换通风在与地板供冷配套时的区别, 从而得出地板送风与地板供冷结合在承担冷负荷方面更优于置换通风系统。在此基础上笔者提出了地板供冷与地板送风混合式空调系统的概念, 并就这一系统的水系统、风系统及控制方式作了进一步阐述, 给出了这一系统的空调系统原理图。地板送风的引入使得地板辐射用于夏季供冷具有更高的可行性, 可以推动地板采暖/供冷这一舒适节能的空调方式在更大范围内的推广。

[参考文献] (References)

- [1] 王子介. 地板供暖及其发展动向 [J]. 暖通空调, 1999, 29(6): 35-38
Wang Zijie The floor radiant heating system and its development trend [J]. HVAC, 1999, 29(6): 35-38 (in Chinese)
- [2] 黄弈云, 张玲. 风机盘管与地板辐射联合供冷应用分析 [J]. 制冷与空调, 2003, 3(4): 32-35
Huang Yiyun Zhang Ling An analysis of the application of fan-coil combined with floor cooling system [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2003, 3(4): 32-35 (in Chinese)
- [3] 李先中, 王子介. 地板供冷/置换通风复合式空调系统的可行性研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2002, 4(4): 4-6
Li Xianzhong Wang Zijie The feasibility of floor radiant cooling system combined with displacement ventilation [J]. Ventilation and Air-conditioning, 2002, 4(4): 4-6 (in Chinese)
- [4] 林忠平, 范存养. 办公楼地板送风技术的新进展 [J]. 暖通空调, 2005, 35(12): 18-35
Lin Zhongping Fan Cunyang The new development of underfloor air distribution system technology in office building [J]. HVAC, 2005, 35(12): 18-35 (in Chinese)
- [5] 王子介, 夏学鹰. 地板辐射供冷可行性研究分析 [J]. 暖通空调, 2002, 32(6): 56-58
Wang Zijie Xia Xueying The feasibility of floor radiant cooling system [J]. HVAC, 2002, 32(6): 56-58 (in Chinese)
- [6] Bjorne W Olesen. Possibilities and limitations of radiant floor cooling [J]. ASHRAE Transaction, 1997, 103(1): 42-48

[责任编辑: 刘 健]