

文章编号:1000-582X(2002)08-0070-03

住宅用冷暖地板空调系统设计*

卢军¹, 高殿策¹, 陈静²

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 重庆大学建筑城规学院, 重庆 400045)

摘要:结合我国夏热冬冷地区住宅用暖通空调设备能耗较高的状况,提出将地板辐射与新风空调机组配合用于室内供冷除湿及采暖的新型空调方式,这种把地板辐射在夏季用于供冷,在冬季用于采暖的系统称之为冷暖地板空调系统。介绍了住宅用冷暖地板空调系统的形式、构造及管材使用的注意问题。阐述了冷暖地板空调系统的优缺点及设计方法,该系统可提高住宅室内环境的舒适性和能源的有效利用效率。

关键词:冷暖地板;地板供暖;节能住宅;户式空调

中图分类号:TU834.3

文献标识码:A

我国夏热冬冷地区,夏季闷热高温,气温多在 28~40℃之间;冬季多阴雨天气,室内湿度较大,日照偏少。由于住宅建筑围护结构的热工性能普遍很差,目前空调供冷/暖的能耗比较高,浪费很大^[1],并且随着我国经济的高速增长,人们的生活水平越来越高,对生活质量以及居住环境的舒适度要求也越来越高。于是,低温地板辐射采暖技术在我国逐渐应用到工程上。低温热水地板辐射采暖,是一种通过提高建筑物内部的地面温度进行供暖的系统。在我国北方地区,低温热水地板辐射采暖方式以其卫生条件高、舒适性好、温度场均匀、可利用能源多等优点而得到广泛应用。至1994年底,法国及其它欧洲国家约有20%以上的住宅建筑使用了地板供暖系统^[2,3]。目前,国内采用地板辐射进行供暖已有较多的工程实践经验;若将地板辐射用于供冷(即将低温热水换做冷冻水)也可以作为夏季供冷的一种空调方式,与新风机组配合还可以改善室内空气品质以及进行除湿。这种把地板辐射在夏季用于供冷,在冬季用于采暖的系统称之为冷暖地板空调系统。

1 冷暖地板空调系统的形式

1.1 冷暖地板空调系统的地板构造

辐射采暖/供冷系统按其构造分为埋管式、风道式和组合式;按其布置位置分为地面式、墙面式、顶面式和楼面式。其中地面式是指以地面为辐射表面,辐射

散热占55%左右;将直径15~32mm的管道埋设于建筑表面内构成辐射表面。冷暖地板空调系统就属于地面埋管式。盘管布置有以下几种形式:平行排管、双蛇型、双回型和对开双回型。其特点如下:

平行排管:管路易于布置,但管路转弯半径较小,且管内水温沿管路逐渐变化,使地板水平方向温度分布不均。

双蛇形:该种形式供、回管并排行走,地板温度分布较均匀。

双回形:以地板中心为对称点,上下左右对称排列着供、回水管,使地板温度在各个方向均保持均匀。

地板构造可分为:地面找平装饰层、碎石混凝土层、苯板保温层及楼板层。其中苯板保温层的作用主要用于防止冷、热量向下传递,在逐渐开始实行的分户冷热计量中尤为必要。

1.2 冷暖地板系统的管材

冷暖地板盘管的管材主要是塑料管和铜管。近年来随着化学工业发展,各种建筑塑料水管得到广泛应用。主要品种有:硬聚氯乙烯(UPVC)、交联聚乙烯(PEX)、聚丙烯(PP-R)、铝塑复合管等。这些管材均有良好的耐温性能,抗腐蚀力强,耐压性能好。其中铝塑复合管易弯曲成型,能够完全消除氧渗透,且线胀系数小,因而得到广泛应用。应用塑料管材应注意以下问题:

1) 埋于地板下的排管应尽量不要有接头,防止承

* 收稿日期:2002-04-10

作者简介:卢军(1966-),男,四川渠县人,重庆大学博士,副教授。主要从事暖通空调及建筑节能理论与技术研究。

压过高,接头处有水渗漏。

2) 塑料管比金属管有很大的线胀系数,因此在设计中应予以重视。管道伸长量可按下式计算:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (1)$$

式中: ΔL ——管道伸长量,m;

α ——线胀系数, $\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;

L ——管道长度,m;

ΔT ——计算温差, $^\circ\text{C}$ 。

管道计算温差可按下式计算:

$$\Delta T = 0.65\Delta t_i + 0.1\Delta t_g \quad (2)$$

式中: ΔT ——计算温差, $^\circ\text{C}$;

Δt_i ——管道内水的最大变化温度差, $^\circ\text{C}$;

Δt_g ——管道外空气的最大变化温度差, $^\circ\text{C}$ 。

盘管的阻力包括沿程阻力和局部阻力2部分^[4]。塑料管的局部阻力与管道的连接方式及布置方式有关。对于“双回型”敷设的管路,其转弯半径较大且无接头,故可忽略不计。沿程阻力可按下式计算:

$$\Delta P_m = \lambda_l/d \cdot \rho v^2/2 \quad (3)$$

式中: ΔP_m ——沿程阻力损失,Pa;

λ ——摩擦阻力系数;

ρ ——流体密度, kg/m^3 ;

v ——断面平均流速, m/s ;

塑料管的水力计算关键在于 λ 值的确定。塑料管属于光滑管,通过水流时,属紊流状态。 λ 值在紊流时与管道内壁的粗糙度无关,而只与雷诺数 Re 有关。 λ 值可按布拉修斯公式计算。

1.3 室内新风除湿系统

夏季,冷地板表面温度较低,如若低于室内空气的露点温度,将会在地板表面结露,产生凝结水,影响室内环境及卫生条件。如若提高地板表面温度,使其高于室内空气的露点温度,不产生凝结水,也会使地板表面附近的空气相对湿度偏高,对人体、家具等带来不良影响。同时,提高地板表面温度,也会降低地板表面平均温度与室内空气温度之差,降低地板换热量。

因此,在冷暖地板空调系统中应该增设一套空气处理系统,既对室内空气除湿,同时也承担室内部分冷负荷,还可以对室内提供处理后的新鲜空气。该空气处理系统与室内冷暖地板的优化设计是关键所在。

在国外的辐射冷吊顶空调系统中,由于室内空气温度取值低,吊顶表面温度相对较高,空气处理系统的风量相对全空气空调系统的风量来说,减小不明显,因而投资较高,运行成本也较高,只在高档办公楼中有所应用。因此,在住宅中,应采用新风除湿机送入经过减

湿处理后的新鲜空气,降低室内相对湿度,适当增加地板的换热量。

重庆大学与重庆国创实业有限公司正联合研制开发住宅用冷暖地板空调系统以及其关键产品——新风除湿机。

2 住宅用冷暖地板应用的可行性分析

影响人体舒适性的主要指标有:空气温度、空气相对湿度、气流速度、平均辐射温度、人体活动强度、衣着状况等。前4个是热环境因素,后2个是人的个体因素。利用丹麦Fanger教授的热舒适理论,将上述6因素综合为PMV,根据这一方法求出的PMV值的取值范围在1~7之间,而当 $PMV = 3.5 \sim 4.5$ 时,即是所谓的舒适区域。再将PMV与热感受的不满意率PPD联系,形成PMV-PPD热环境质量指标体系。PMV-PPD指标体系表明,同一等级的热环境质量,可以由不同的6个因素值组合达到。

与传统空调采暖方式相比,冷暖地板空调系统有以下特点:

1) 地板辐射采暖/供冷所形成的室内温度场较均匀,主要受埋管形式、管间距以及室内家具布置影响。经实验研究,按照人体舒适性要求,暖地板地面平均温度应小于 29°C ;冷地板地面温度应高于 18°C ^[5]。通常情况下,室内空气竖向平均温度梯度只有 $0.55^\circ\text{C}/\text{m}$,在距地面 0.1m 处存在较大温度梯度,在 $0.1 \sim 2.0\text{m}$ 处温度梯度几乎为零;在水平方向,距地面 1.6m 处温度分布非常均匀,平均温度梯度只有 $0.3^\circ\text{C}/\text{m}$ 左右。

地板辐射采暖/供冷所形成的室内空气速度场较均匀。室内产生的上升气流小,水平方向空气流动缓慢,平均流速小于 $0.2\text{m}/\text{s}$,有较好的空气洁净度,符合人体舒适条件。冬季,足暖头凉给人以舒适感,并有一定的保健作用。而传统的对流采暖空调方式,室内上部温度偏高,不能形成良好的冷热循环,往往使人产生头昏脑胀的感觉。所以,夏热冬冷地区的居民冬季较少采用壁挂式热泵空调器采暖。

2) 有关资料显示,对于采用地板辐射采暖的节能建筑而言,当室内气温取 16°C 时,与达到《民用建筑热工设计规程》要求的保温标准的建筑,采用现行散热器采暖、室内气温为 18°C 时的PMV值相同。即辐射采暖房间的室内设计温度可以比对流换热采暖房间降低 2°C 左右,节省能耗 $10\% \sim 20\%$ 。

3) 有利于室内隔声和减噪。另外,减少了室内空调器或散热器的台数,便于室内装修及房间的布置。但由于抬高了地面高度约 8cm 左右,对室内层高有所要求。

4) 现在市场上普遍采用的地板采暖都是在分户独立采暖炉提供热源的基础上实现的。在夏热冬冷地区,由于生活水平的提高,住宅家用空调的普及率平均已达到每百户 85 台,住宅集中空调已成为房地产开发的一种优选方式。住宅集中空调对改善城市建筑立面,改善居住小区环境、改善室内空气品质、节能等具有明显的优势。冷暖地板集中空调方式的冷热源设备可以采用风冷热泵冷热水机组或燃气型直燃式冷热水机组。燃气型直燃式冷热水机组可以实现一机三供,即夏季用冷冻水、冬季采暖用热水及生活热水。由于冷暖地板的供回水平均温度在夏季有所提高,而冬季有所降低。因此,可以提高风冷热泵机组的能效比 COP 值,达到节能的效果。并且,可以将风冷热泵机组的冬季空调使用范围扩大到我国的北方地区,将由此产生较好的能源利用效率与环保效应。

3 冷暖地板空调系统设计要点

1) 由于地板辐射同时以对流和辐射 2 种方式与室内空气、墙面以及人体进行换热,因而人体的热损失较少。人体受辐射和对流热交换综合作用时以温度表现出来的实际感觉,称之为实感温度。实感温度可以根据下式计算:

$$T_A = 0.52 T_N + 0.48 T_W \quad (4)$$

式中: T_N ——室内空气的温度, $^{\circ}\text{C}$;

T_W ——室内围护结构的平均辐射温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

实感温度在冬季应保持在 16 ~ 20 $^{\circ}\text{C}$,这样才能满足人体的舒适性要求。据有关资料显示,当壁面平均辐射温度为 $T_W = 19^{\circ}\text{C}$,室内空气温度为 $T_N = 17^{\circ}\text{C}$ 时,实感温度 $T_A = 18^{\circ}\text{C}$ 。因而辐射采暖室内设计温度可以比常规散热器采暖房间低 1 ~ 2 $^{\circ}\text{C}$ 。同样的原理,夏季进行地板供冷时,室内计算温度可以比常规空调系统高 1 ~ 2 $^{\circ}\text{C}$ 。室内空气温度可取 27 ~ 29 $^{\circ}\text{C}$ 。

相对湿度在温度一定时对人体舒适度有一定的影响。为了降低室内空气的露点温度,夏季室内空气的相对湿度值宜适当降低。一般,舒适状态时的相对湿度上限为 70% 左右。在冷暖地板空调系统中,室内空气相对湿度可取 60% 左右。在确定室内状态点后,要注意使室内空气露点温度比地板表面温度高 2 $^{\circ}\text{C}$ 左右,以防止地板表面结露。

2) 地板表面与房间的换热量包括辐射换热量和对流换热量 2 部分^[6]。

对流换热量为:

$$Q_d = 2.17(t_{pj} - t_n)^{1.31} \quad (5)$$

辐射换热量为:

$$Q_f = 4.98 \left[\left(\frac{t_{pj} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_f + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (6)$$

式中, t_{pj} ——地板表面的平均温度, $^{\circ}\text{C}$; t_f ——室内其它 5 个表面的平均温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

房间总换热量为:

$$Q = Q_d + Q_f \quad (7)$$

在稳定情况下,辐射换热量占总传热量的 40% ~ 50%。

3) 工程上,也可按照单位面积地板表面与室内空气的温度差近似计算:

$$Q = qF\Delta t \quad (8)$$

式中, q ——单位地板面积、单位地板表面与室内空气的温度差下,冷暖地板与室内空气的换热量,可近似取 6.3, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

F ——冷暖地板散热面积, m^2 ;

Δt ——冷暖地板表面与室内空气的温度差, $^{\circ}\text{C}$ 。

4) 按照住宅的新风换气次数确定新风除湿机组的最小风量,并验算空气除湿量和制冷量是否满足室内空气相对湿度要求和冷量要求。如若不满足,可增加新风除湿机风量,改全新风运行为一次回风和新鲜空气混合处理的系统型式。

4 结束语

冷暖地板空调系统是一种节能、舒适的空调系统型式,适合住宅、宾馆和办公等场所使用。但由于研究、运用较少,还缺乏较多的实际工程计算数据和方法,从而影响其推广使用。但相信随着暖地板的大量使用,冷暖地板空调系统的研究和推广也将得到极大的发展。

参考文献:

- [1] 杨善勤. 民用建筑节能设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [2] 王子介. 地板供暖及其发展动向[J]. 暖通空调, 1999, 29(6): 35-38.
- [3] 张锡虎. 北京市标准《低温热水地板辐射供暖应用技术规程》简介[J]. 暖通空调, 2001, 31(3): 16-17.
- [4] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [5] 胡松涛, 于慧俐. 地板辐射供暖系统运行工况动态仿真[J]. 暖通空调, 1999, 29(4): 15-17.
- [6] 章熙民. 传热学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.

(下转第 76 页)

- 235.
- [3] DAVIES J A. Estimating solar radiation from incomplete cloud data[J]. *Solar Energy*, 1989, 43(4): 15-18.
- [4] GUL M S. Models for obtaining solar radiation from other meteorological data[J]. *Solar Energy*, 1989, 43(1-3): 99-108.
- [5] GOPINATHAN K K. Solar sky radiation estimation techniques [J]. *Solar Energy*, 1993, 46(1): 9-11.
- [6] JAIN P C. A model for diffuse and global horizontal surfaces[J]. *Solar Energy*, 1990, 44(5): 301-308.
- [7] 江亿. 空调负荷计算用随机气象模型[J]. *制冷学报*, 1981, 7(3): 45-55.
- [8] NAGARAJA C R. The diffuse component of the daily global solar irradiation at Corvallis Oregon (U. S. A) [J]. *Solar Energy*, 1984, 38(5): 637-641.

Models to Separate Daily Diffuse Radiation from Daily Total Radiation for Energy Consumption Analysis of Air-Conditioning System

SU Hua, TIAN Sheng-yuan, SU Fen-xian

(College of Urban Construction and Environment Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045, China)

Abstract: Both total irradiation and diffuse irradiation are necessary to building energy consumption analysis. At the most cases in China, only total irradiation is available. So some method is needed to estimate diffuse irradiation. Relationship between daily diffuse irradiation and daily total irradiation is analyzed, based on data from Beijing and Chengdu. Polynomial models for Beijing and Chengdu are established to estimate K_d from K_t . Validation tests show good performance of the models. Monthly means of predicted daily diffuse irradiation is not significantly different from that of the original daily diffuse irradiation. Also, the auto-correlation function of the predicted diffuse fraction, K_d is coincident with that of the original K_d . Beijing model can accurately predict the data of Chengdu, which is significantly different from Beijing as to the climate, so it is recommended as the general model.

Key words: diffuse fraction; clearness index; polynomial fit

(责任编辑 姚 飞)

(上接第 72 页)

Design of Cooling/Heating Floor AC Systems in Residential Buildings

LU Jun¹, GAO Dian-ce¹, CHEN Jing²

(1. College of Urban Construction and Environment Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: This paper puts forward a new way in air-conditioning, which combines the fresh-air supply unit and such floor radiation system for the dehumidification and cooling in summer or heating in winter. By analyzing its advantages and limitations, it is found that this so called Cooling/Heating Floor AC System can improve the IAQ of residential building while keep high efficiency quality. It is also recommended that an methodology for the HVAC system designing, which will ensure the reduction of energy cost of users.

Key words: cooling/heating floor; floor heating; energy saving residential buildings; air conditioning

(责任编辑 陈移峰)