

# 结合毛细管网末端的水源热泵供冷系统应用研究

## Application Research on Water Source Heat Pump Cooling System Combined With Capillary Network End

吴智昊 李珍 李兆星 崔婧华 张期强 何振成

Zhihao Wu Zhen Li Zhaoxing Li Jinghua Cui Qiqiang Zhang Zhencheng He

沈阳大学建筑工程学院,中国·辽宁 沈阳 110044

School of Architecture and Engineering, Shenyang University, Shenyang, Liaoning, 110044, China

**【摘要】**沈阳市儿童医院空调系统采用的冷源为地下水源热泵系统,末端系统采用的是毛细管网系统,以此空调系统作为典型工程案例,从地下水源热泵系统和毛细管网的概念和构成出发,对其特点与工作原理进行详细阐述;在夏季制冷时,毛细管网壁面易出现结露现象,用 Airpak 对该送风参数进行模拟,PMV 和 PPD 均在人体舒适范围内。通过分析毛细管网与水源热泵相结合的供冷系统形式,将对毛细管网的设计、性能分析具有重要的参考价值,也为该系统的推广应用提供了借鉴意义。

**【Abstract】**The cooling source used in the air conditioning system of Shenyang Children's Hospital is a groundwater source heat pump system, and the end system uses a capillary network system, taking this air-conditioning system as a typical engineering case, the characteristics and working principle of the groundwater source heat pump system and capillary network are elaborated. In the summer cooling, the wall surface of the capillary network is prone to condensation, and the air supply parameters are simulated by Airpak. Both PMV and PPD are within the comfort range of the human body. By analyzing the form of the cooling system combined with the capillary network and the water source heat pump, it will have important reference value for the design and performance analysis of the capillary network, and also provide reference for the popularization and application of the system.

**【关键词】**水源热泵;毛细管网;Airpak 模拟;建筑节能

**【Keywords】**water source heat pump; capillary network; Airpak simulation; building energy saving

**【DOI】**<https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v3i1.1303>

## 1 引言

能源问题是当今世界各国面临的社会问题之一,能源不仅是人类社会赖以生存的物质基础,也是实现经济可持续发展的重要保障。在中国已经有很多的城市正在建设绿色建筑,绿色建筑能够高效的解决建筑的节能、节水、节材,还可以有效解决室内环境问题。建筑节能技术已得到国家的大力支持与鼓励。随着人们对地下水源热泵系统的认知度越来越高,社会投入使用量也得到大幅提升,与此同时地下水源热泵系统模型和模拟逐步进入各类人士的眼目,并开始研究。地热能是较适合中国发展的可再生能源,通过先进的水源热泵机组将低位能变为可利用的高位能,输送到供暖建筑内部,达到真正意义上的可持续发展能源<sup>[1]</sup>。水源热泵系统是利用水作为介质,其传热性能好,并且无污染,是可再生能源,节约占地面积,维护方便,达到环保部门提出的各项指标。其中毛细管网+地源热泵的生态空调是地能利用的有效形式之一,毛细管网+地源热泵技术是中国解决供热问题最先进、适用性最强的技术之一。

## 2 地下水源热泵系统应用条件分析

### 2.1 地下水源热泵系统主要特点

#### 2.1.1 高效节能

水源热泵的能效比 COP 值理论计算可以达到 7,而在实际运行的过程中也能够达到 4~6,在夏天由于水的温度会比外界环境温度要低,所以冷凝温度也会相应变低,所以冷却效果明显,机组运行能效要比风冷式、冷却塔式要高很多。而在耗电量上,是传统空调系统的耗电量的一半,因此不但节省能源,节省运行成本<sup>[2]</sup>。

#### 2.1.1 环保

水源热泵机组在制冷的时候不会像传统的冷却水塔,因此不会制造噪声和污染,水源热泵机组在运行的过程中不会制造任何污染环境的污染物。

#### 2.1.3 可再生能源

水源热泵是把水存储的太阳能作为热源,利用水自然散热后的低温水作为冷源,从而产生能量转换。地下水有着能量相对均衡的优势。因此利用储存在地下水中的太阳能,这

样水源热泵是一种可再生能源技术,应当大力支持与发展<sup>[9]</sup>。

## 2.2 地下水源热泵系统的工作原理

自然界中有一种规律就是水往低处流,而热能是由高温转移到低温。水泵的发明就是使水从低处通过泵被抽到高处,热量也是通过泵由低温介质转移到高温介质。就是因为这个原理,人们发现了利用电能来驱动使压缩机可以工作,使得制冷剂可以循环。在蒸发器可以发生气化现象进行吸热,在冷凝器可以发生液化现象进行放热,使热量进行传递,实现制冷目的<sup>[9]</sup>。

## 2.3 沈阳市儿童医院的水文地质条件

沈阳市儿童医院的选取是已经做过详细的水文地质条件的勘察。场区含水层的岩性为中砂以上,渗透系数约为20m/d,满足该工程所需的用水量,回灌量与回灌效率也较好。经过调查知道,该医院的地下水位含水层的厚度、深度均适宜,热源井的单井出水量和回灌效率也较高。热源井安置于垂直于地下水流方向,且地下水流速大,有利于提高效率。地下水水质澄清、不腐蚀、不滋生微生物完全达到设计标准。因此,沈阳市儿童医院的水文地质条件良好。

## 3 毛细管网平面空调系统

### 3.1 毛细管网空调系统特点

毛细管网辐射空调系统夏季需要18℃的水进行辐射散冷,7℃的水进行除湿。毛细管网热泵空调主机夏季直接提供18℃的水用于毛细管网辐射散冷,有着良好的节能效果,COP值一般大于6。毛细管网平面空调技术,是采用材质柔软的毛细管网,这种材质可以安放在墙面、地板上,已达到辐射热能的目的,二来对于房间内部的保温和热交换都有很好的帮助。这种充满流动液体的毛细管网很受业界欢迎。这种技术完全符合生物学原理,从而提高舒适度,成为真正意义上的绿色生态空调<sup>[9]</sup>。

### 3.2 毛细管网空调系统的原理

毛细管网末端制冷系统+置换式新风系统,也叫温湿度独立控制系统,温度是由安置在棚壁上的毛细管来控制,湿度是由安置在地板下的置换式新风系统来控制,传统的空调方式是余热余湿是联合处理的,用冷却干燥的空气去除房间的余热余湿。热湿独立处理空调系统,将户外新风有效的除湿后送入室内从而出去室内湿负荷;而去除余热是通过独立水系统把冷水循环的温度提高到18~20℃,再由毛细管网等末端来解决室内余热,这样大大的提升了机组的效率,但毛细管网辐射板温度应高于室内空气的露点温度,否则会发生结露现象<sup>[9]</sup>。

## 4 毛细管网末端系统 Airpak 模拟分析

毛细管网辐射空调系统是一种低能耗、高舒适性的新型

空调系统。毛细管网辐射空调系统一般与新风系统结合起来,采用温湿度独立控制,辐射板承担大部分负荷,新风承担全部潜热负荷和一部分的显热负荷,这样不仅可以解决结露问题,还提高了毛细管网辐射空调系统的舒适性。本文针对沈阳市儿童医院某一病房进行温度、湿度的实验测试,结合数据分析该系统的可行性<sup>[9]</sup>。

### 4.1 实验测试

实验测试对象为沈阳市儿童医院某一病房,该病房为普通双人间病房,房屋尺寸为5800mm×3600mm×3000mm,南外窗的尺寸为1500×1800mm,采用毛细管网辐射供冷加置换通风除湿系统。本实验在房间均匀布置了5个对应测点,测量室内温度和湿度。室内送风口在卫生间的墙上,采用侧送风方式。送风温度、毛细管网的供水温度可由沈阳市儿童医院的楼控机房显示:毛细管网供回水温度为21~22.9℃,采用露点送风,新风处理到18℃。

### 4.2 实验结果分析

表1为测试数据的一部分,采用这种送风方式的室内的平均温度为26℃,平均相对湿度为70%,根据焓湿图可知此时房间的含湿量为13.75g/kg,新风的送风温度为18℃,此时送风的含湿量为12.1g/kg。该表反应出当壁面温度低于露点温度时,如序号3-8都有结露现象产生;从序号7中的数据,我们可以看出,当关闭室内的新风时,室内结露更加明显。新风对系统结露有缓解作用,但是除湿能力不够,对于结露现象依然没有解决,所以需要降低送风的含湿量。

表1 房间各测试参数

序号	新风风速 (m/s)	室内温度 (℃)	相对湿度 (%)	室内露点 温度(℃)	壁面温度 (℃)	结露情况
1	3.5	25.4	65	20.7	21.5	无
2	0.52	24.6	73	20.9	20.8	无
3	0.6	26.6	73	23.5	21.8	轻微
4	1.8	26.8	71	23.5	21.8	轻微
5	0.75	24.6	69	21.5	17.5	轻微
6	2.5	24.8	73	21.6	17.5	有
7	0	24.6	72	21.5	19	严重
8	2.7	25	68	21	20	轻微

注:“无”表示壁面无结露现象;“轻微”表示壁面潮湿;“有”表示壁面明显结露;“严重”表示壁面有墙皮裂缝。

### 4.3 基于 Airpak 的数值模拟分析

利用实验测定的数据为模拟条件,利用 Airpak 模拟软件对该实验房间进行模拟分析。该模拟主要两个目的:一是以温度为 13℃露点送风状态送风,模拟出室内的温湿度;二是计算模拟该房间的 PMV 与 PPD,定量分析使用该送风方式的热舒适性。模拟结果分析如下:

(1)该房间的温、湿度分布状况如图分析

通过 Airpak 模拟分析得到采用这种送风方式处理的房间室内距地面 1.6m 的温度、湿度分布云图见下图:

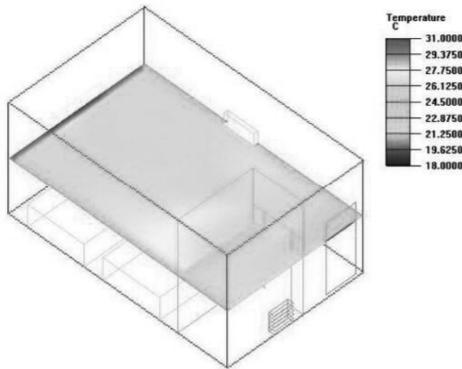


图1 该房间 1.6m 处温度分布云图

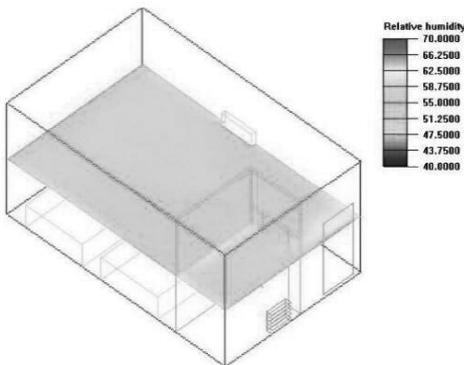


图2 该房间 1.6m 处湿度分布云图

图1为该房间距地面 1.6m 处的温度分布云图,根据图中颜色变化情况,根据不同颜色对应的温度值可以看出,墙的壁面温度较低,受毛细管网辐射影响,温度在 22℃左右;窗的温度较高,受室外太阳辐射影响,房间的整体温度比壁面高,比窗附近低,在 25℃左右呈均匀分布。图2为该房间距地面 1.6m 处的湿度分布云图,根据图中颜色变化情况,根据不同颜色对应的湿度值可以看出:以这种送风参数送风,房间的相对湿度在 58%—62%之间,此时空气露点温度为 18.5℃,壁面温度 22℃,不会结露,可以采用这种送风参数。

(2)两个房间热舒适度分析

PMV 指标理论依据是当人体处于稳态的热环境下,人体的热负荷越大,热体偏离热舒适性的状态就越远。PMV 与人体热负荷之间关系的回归公式:

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.0275] / I_{cl}$$

PMV 指标代表的是同一环境下绝大多数人的感觉,但人与人之间存在着生理差异,因此 PMV 指标并不一定代表所有人的感觉,为此提出 PPD 指标来表示人群对热环境不满意的百分数,利用概率分析法,给出 PMV 与 PPD 之间定量关系:

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)]$$

通过 Airpak 模拟软件,模拟该房间的 PMV 及 PPD 的分布状况,计算 PMV 及 PPD 时对室内情况设定如下:该房间里的人员着装为普通夏季所穿的半袖短裤;人体活动为久坐或久坐卧状态。经过模拟分析,计算结果如图:

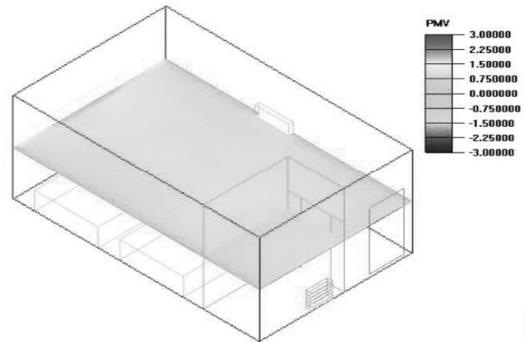


图3 房间 1.5m 处 PMV 分布云图

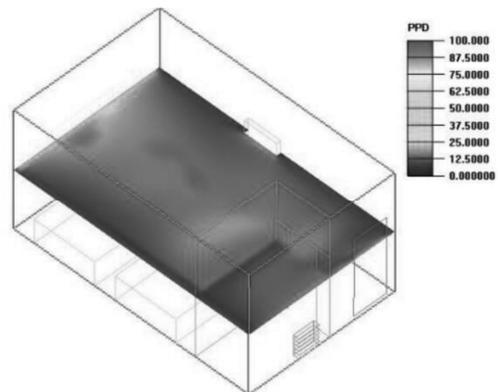


图4 房间 1.5m 处 PPD 分布云图

表2 PMV 结果分析

	Min	Max	Mean
PMV 值	-0.76	1.95	0.86

表3 PPD 结果分析

	Min	Max	Mean
PPD 值	5.00%	65.221%	12.03%

表2、3分别是 PMV 值和 PPD 值。由计算结果可知,该房间的 PMV 主要集中在 0—0.75 之间,PMV 评价指标的平均值为 0.86,属于比较舒适范围内;该房间的 PPD 值主要集中在 0—12.5% 之间,PPD 评价指标的平均值为 12%,可以看出该房间的不满意百分比的平均值为 12%,大多数人比较满意该房

间的热湿环境,说明使用这种送风参数送风室内温、湿度比较舒适。

## 5 结语

本文以沈阳市儿童医院空调系统作为典型工程案例,从地下水源热泵系统和毛细管网空调系统的概念和构成出发,对其特点与工作原理进行详细阐述,调查了沈阳市儿童医院的水文地质条件均符合使用地下水源热泵系统;毛细管网在夏季供冷时会发生结露现象,新风对系统结露有缓解作用,但是如果新风的除湿能力不够仍然不能解决结露问题。沈阳市儿童医院采用露点送风,送风温度为 $18^{\circ}\text{C}$ ,含湿量为 $12.1\text{g/kg}$ ,除湿能力不足房间壁面发生结露。通过房间湿平衡和热平衡的计算求出新的送风参数:送风温度 $13^{\circ}\text{C}$ ,含湿量为 $9.09\text{g/kg}$ ,以这种送风方式送入房间新风,可以降低室内湿度,并用 Airpak 模拟软件验证了该送风方式可以使房间相对湿度降到

$58\% - 62\%$ ,温度 $25^{\circ}\text{C}$ ,此时房间不易发生结露,房间的PMV值在0.86,PPD值在12%,满足人体舒适性的要求。

### 参考文献

- [1]孙强.浅谈水源热泵技术的国内外发展现状及趋势[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2007年5月,25(3):433-434.
- [2]周海丽.周文和等.张掖地区地下水源热泵系统实测及分析[J].兰州交通大学学报,2018,32(2):104-109.
- [3]王婷婷.毛细管平面辐射空调系统设置方式与运行策略研究[D].济南:山东建筑大学,2012.
- [4]金梧凤,余铭锡,金光禹.毛细管网系统供冷性能的实验研究[J].暖通空调,2010,40(9):102-106.
- [5]张伦,刘晓华,江亿.对流强化式辐射板实验与性能分析[J].暖通空调,2011,41(1):38-41.

### 基金项目

2018年大学生创新创业训练计划项目(项目编号:2018110350053)。