

国家“十一五”科技支撑计划资助项目

低温热水采暖末端装置

赵加宁 主编

中国建筑工业出版社

国家“十一五”科技支撑计划资助项目

低温热水采暖末端装置

赵加宁 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

低温热水采暖末端装置/赵加宁主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 1

(国家“十一五”科技支撑计划资助项目)

ISBN 978-7-112-12655-2

I. ①低… II. ①赵… III. ①热水-采暖设备
IV. ①TU833.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 226979 号

本书是根据“十一五”国家科技支撑计划项目“建筑节能关键技术与示范”之课题“供热系统节能关键技术与示范”的研究成果所著的系列书之一, 涉及的内容主要为低温热水采暖末端装置的研发与应用。

基于我国建筑低温供暖末端的需求, 本书主要介绍可采用低于 60℃ 低温热水的采暖末端装置——采暖地板、采暖装饰辐射板、自然循环散热器、强制循环散热器四类。书中通过低温热水采暖末端装置的设计, 散热特性的实验与研究, 在实际工程中的应用, 所保障的室内热环境, 适宜该装置的供热系统等几个方面对上述四类低温热水采暖末端装置进行了阐述。

本书针对的读者群为供热、供燃气、通风及空调专业的工程和科技技术人员, 也可作为大专院校供热、供燃气、通风及空调专业本科生、研究生的参考教材。

* * *

责任编辑: 张文胜 姚荣华

责任设计: 赵明霞

责任校对: 王金珠 姜小莲

国家“十一五”科技支撑计划资助项目

低温热水采暖末端装置

赵加宁 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 3/4 字数: 393 千字

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月第一次印刷

定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-12655-2

(19918)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

主 编：赵加宁

参编人员：王随林 闫全英 李翠敏 周 浩
赵 宇 李晓峰 吴小舟

前 言

本书是根据“十一五”国家科技支撑计划项目“建筑节能关键技术研究示范”的课题“供热系统节能关键技术研究示范”的研究成果所著的系列书之一，涉及的内容主要为低温热水采暖末端装置的研发与应用。

本书针对的读者群为供热、供燃气通风及空调专业的工程和科研技术人员，也可作为大专院校供热、供燃气通风及空调专业本科生、研究生的参考教材。

目前传统辐射散热器仍是我国市场应用的主流，其设计供水温度是 95°C 。理论上讲 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的热水也能够很好地满足 20°C 室内温度的热环境要求，而且有大量低温热源能够提供 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的热水。但由于技术原因，这个水温段的末端设备仍是市场的空白，而随着人们节能意识的提高，对低温采暖末端设备的需求日益迫切。在这样的背景下，研究与优化不同的采暖方式和采暖末端设备，使建筑能耗更符合可持续发展的要求，日益成为暖通空调界的研究热点。

基于读者群的特点和我国建筑低温采暖末端的需求，本书主要介绍可采用低于 60°C 低温热水的采暖末端装置——采暖地板、采暖装饰辐射板、自然循环散热器、强制循环散热器4类。

本书通过低温热水采暖末端装置的设计、散热特性的实验与研究、在实际工程中的应用、所保障的室内热环境、适宜该装置的供热系统等几个方面对上述4类低温热水采暖末端装置进行了阐述。

本书共6章，由哈尔滨工业大学的赵加宁统稿，并撰写了第1章、第3章、第4章、第5章和第6章；北京建筑工程学院的王随林和闫全英撰写了第2章；哈尔滨工业大学的研究生李翠敏、吴小舟、李晓峰、赵宇和周浩参加撰写了第3章、第4章、第5章和第6章。

由于作者水平有限且时间仓促，疏漏与不当之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

作 者

2010年8月31日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 可用于采暖的低温热水	1
1.1.1 自然界可直接利用的低温热水	2
1.1.2 可间接利用的低温热水	2
1.1.3 工业生产中可利用的低温热水	3
1.2 低温热水采暖末端散热装置的发展与现状	4
1.2.1 采暖地板	4
1.2.2 采暖装饰辐射板	5
1.2.3 自然对流散热器	7
1.2.4 强制对流散热器	7
参考文献	8
第 2 章 采暖地板	10
2.1 采暖地板介绍	11
2.1.1 预制轻薄型低温热水地面辐射采暖板	14
2.1.2 预制沟槽保温板采暖地板	14
2.1.3 新型预制沟槽式热水采暖地板	14
2.2 采暖地板的散热特性	16
2.2.1 传热机理	16
2.2.2 传热过程数学模型	16
2.2.3 地板内传热规律	20
2.2.4 热水采暖地板散热特性测试	21
2.3 热水采暖地板参数优化	28
2.3.1 计算条件和参数	28
2.3.2 不同水温下温度分布和散热量	30
2.3.3 地板表面温度分布和散热量的影响因素	32
2.4 新型构造地板设计方法	37
2.4.1 地板辐射采暖热负荷确定	37
2.4.2 地面散热量	37
2.4.3 房间所需的单位面积地面有效散热量	38
2.4.4 加热管间距的确定	38
2.4.5 地板表面平均温度的校核	38
参考文献	39

第3章 毛细管采暖辐射板	40
3.1 辐射采暖散热器介绍	40
3.1.1 金属吊顶辐射板简介	40
3.1.2 毛细管采暖辐射板	41
3.2 毛细管采暖辐射板的特性	52
3.2.1 毛细管采暖辐射板传热过程	52
3.2.2 毛细管采暖辐射板散热特性测试方法	54
3.2.3 毛细管采暖辐射板的特性测试结果及分析	57
3.3 毛细管采暖辐射板选择	67
3.3.1 并联辐射板的设计选择	67
3.3.2 串联辐射板的设计选择	70
参考文献	72
第4章 毛细管自然对流散热器	74
4.1 自然对流散热器介绍	74
4.1.1 常见自然对流散热器介绍	74
4.1.2 毛细管自然对流散热器构造	77
4.1.3 毛细管自然对流散热器运行原理	81
4.2 毛细管自然对流散热器特性	82
4.2.1 毛细管阻力特性的基础理论研究	82
4.2.2 毛细管自然对流散热器特性测试内容与方法	88
4.2.3 毛细管自然对流散热器的特性测试结果及分析	93
4.3 自然循环散热器应用	102
4.3.1 毛细管自然对流散热器优点及适用场合	102
4.3.2 毛细管自然对流散热器的选用方法	103
4.3.3 毛细管自然对流散热器的安装与运行	106
4.3.4 自然循环散热器的应用实例	107
4.4 毛细管自然对流散热器研究展望	112
参考文献	112
第5章 铜管铝翅片强制对流散热器	114
5.1 铜管铝翅片强制对流散热器介绍	114
5.1.1 常见铜管铝翅片强制对流型散热器	114
5.1.2 铜管铝翅片强制对流散热器的设计原理	116
5.1.3 铜管铝翅片强制对流散热器的结构形式	117
5.1.4 铜管铝翅片强制对流散热器的运行原理及传热机理	121
5.1.5 铜管铝翅片强制对流散热器的技术特点	122
5.2 铜管铝翅片强制对流散热器的特性	123
5.2.1 强制对流散热器的性能测试方法	123
5.2.2 强制对流散热器的散热特性	125
5.2.3 强制对流散热器的水阻特性	130

5.2.4 强制对流散热器的噪声特性	131
5.3 铜管铝翅片强制对流散热器的应用	133
5.3.1 强制对流散热器传热方程的确定	133
5.3.2 强制对流散热器的设备选型方法	139
5.3.3 强制对流散热器的运行调节及控制方法	143
5.3.4 强制对流散热器的热量计量方法	146
参考文献	147
第6章 低温热水采暖末端装置应用	150
6.1 应用低温水采暖末端装置的室内热环境	150
6.1.1 建筑采暖热负荷的计算方法	150
6.1.2 应用低温水采暖末端装置的室内热环境研究	162
6.1.3 低温水采暖末端装置的比较	188
6.1.4 低温水采暖末端装置的应用	191
6.2 适宜低温采暖末端装置的采暖系统	196
6.2.1 采暖热源的选择	196
6.2.2 采暖系统形式的选择	202
6.2.3 低温采暖系统的能效率与焓效率分析	209
参考文献	216
附录	218
附录 A 常用管材单位地面面积的散热量和向下传热损失	218
附录 B 散热器散热性能测试装置及测试方法	236
附录 C 散热器阻力性能测试装置及测试方法	241
附录 D 采暖热负荷计算时的相关参数表	243

第 1 章 绪 论

低温热水采暖末端装置,是指采用低温热水作为介质的采暖系统末端装置,设计与运行中普遍采用的低温热水参数一般低于 60°C 。目前已经用于实际工程的低温热水采暖末端装置有采暖地板、采暖装饰辐射板、自然循环散热器、强制循环散热器 4 类,其中以采暖地板的应用最多。

采暖用能除目前常规的锅炉房和热电厂提供的高品位蒸汽与热水之外,可大量应用低品位的能源。可用的有工业余热、地热能、太阳能、江河水、污水等。在以人类生活舒适为目标的建筑内,室内空气温度设计值通常在 20°C 以下,因此,理论上讲,高于 20°C 的热水就可以作为介质采暖。对于热水采暖而言,水的温度越低,其品位就越低。采用低温热水采暖末端装置就起到了尽可能利用低品位能源,而节约高品位能源的作用。这不仅仅可以利用原本弃之不用的能源,节省了能源的“量”,重要的是节省高品位的能源的“质”,使高能高用、低能低用,即“能尽其用”,不仅可以节省石化燃料,也减少了二氧化碳排放量,也必然带来相应的经济效益。

上述低品位能源的一个特点是通常只能提供大量低温热源。工业生产中,冷却系统和冷凝系统产生大量 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的余热水; 60°C 左右的低温地热水和工业的尾水热利用用于直接采暖的空间很大;太阳能热水器可提供大量的中低温度的热水;我国热泵系统采暖应用的越来越多。应用热泵进行采暖时,所提供的热水温度越低,热泵的效率越高,对低温采暖末端装置越有需求。然而,目前工程中用量最大的采暖系统末端装置——散热器,大多以 95°C 热水作为设计供水温度,低温水难以直接利用。因此,低温水采暖的技术或者说可使用低温水高效换热的末端装置技术将成为大量低品位热源是否有效利用的关键。本章将简要介绍可用于采暖的低温热水来源和低温热水采暖末端装置。

1.1 可用于采暖的低温热水

目前以热电厂和锅炉房作为热源的常规采暖系统中,多采用铸铁散热器和钢制散热器,由于所用散热器的限制,所要求的供水温度不得低于 60°C ^[1],而采用风机盘管为末端装置的空调系统,采暖时的水温常采用 $60^{\circ}\text{C}/50^{\circ}\text{C}$,由于是强制循环散热,在此温差下,其散热能力高于上述散热器。

采暖用热水的温度为何值时属于低温热水,尚未见到定义,但 60°C 以下的热水可看作是低温热水这一观点,得到了许多专业人士的认可。目前,能提供低温热水的低温热源主要有工业低温余热、热泵热源以及自然界中的太阳、空气、风、江河湖海水、土壤等,另外,楼内混水系统以及常规散热器的回水也可作为低温采暖末端装置的低温热源。若将低温热水按是否经过辅助热源或热泵提升温度来分,又可分为可直接利用与可间接利用的低温热水。可直接利用的低温热水水温约在 $30\sim 60^{\circ}\text{C}$ 之间,可间接利用的低温热水水温

则在 $0\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间。

用于采暖的低温热水分为自然界可直接利用的低温热水、可间接利用的低温热水和工业生产中可利用的低温热水。本节将从这 3 个方面阐述我国可利用的低温热水情况。

1.1.1 自然界可直接利用的低温热水

自然界中能提供 $30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 低温热水的热源包括地热能、太阳能、水能、生物质能等等。其中,地热能和太阳能开发是我国目前民用采暖低温热源的主要发展方向。

地热资源是能够为人类经济地开发利用的地球内部热资源,也是一种清洁能源,我国的低温地热资源蕴藏丰富。低于 60°C 的低温地热水过去主要用于医疗、洗浴、栽培作物等,很少用于采暖。而低温地热水(低于 90°C)中 $60\sim 90^{\circ}\text{C}$ 的部分可以直接或经过换热器后间接用于采暖和工业流程,其尾水利用率不高,基本在 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 左右就排放或回灌^[2],造成了资源的浪费和环境热污染。若将这两部分低于 60°C 的地热水和地热尾水直接用于低温采暖,则可最大限度地从低温地热水中提取热量,增大地热的利用率。

太阳能因其清洁、安全和可靠而成为最引人注目的可再生能源。我国地处北半球,幅员辽阔,太阳能资源十分丰富,大部分地区位于北纬 45° 以南。每年日照时数大约在 2000h 以上,各地的太阳总辐射量大致在 $3300\sim 8400\text{MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,平均为 $5852\text{MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。根据太阳辐射量的多少可将我国分成 5 个热能等级,一、二、三等是太阳能丰富的地区,面积约占我国总面积的 $2/3$ 以上^[3]。其中采暖地区大多位于太阳能丰富区内,利用太阳能热水器可以利用这部分太阳辐射能提供中低温度的热水。因此,利用太阳能进行采暖是比较有利的。目前,我国太阳能热水器技术已经很成熟,是该产品拥有量和生产能力最强的国家。近年来,我国对太阳能采暖系统也进行了一些探索,但至今太阳能在采暖领域并没有获得成规模的利用。原因来自于它的能流密度较低和时段性。在一些太阳能日照率很大的地区,如拉萨地区南向垂直面上,11 月至次年 3 月份可用于采暖的日辐射量平均值为 $21740\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ^[4],该地区可直接利用太阳能集热器收集太阳辐射能而无需辅助热源来进行低温或中温热水采暖。

1.1.2 可间接利用的低温热水

自然界中可间接利用的低温热水来源于地热水、太阳能热水系统、江河湖海水以及城市污水等。各种低温热源中, $30\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的热水可以直接利用, 30°C 以下的可以通过热泵技术或其他加热方式对其加以利用。目前最常见的方式是采用热泵将水温提高到 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。地源热泵、水源热泵等各种形式热泵的发展大大扩展了低温热源的使用范围。

我国地热资源丰富,通过 30 多年地热地质调查,已发现地热区 3200 多处,已完成的大、中型地热田勘查 50 多处,主要分布在京、津、冀、东南沿海、内陆盆地和藏滇地区。其中,中低温地热系统可直接利用的 2900 多处,开发潜力在 2000 亿 t 标准煤当量以上。我国地热采暖已有十几年的历史。目前已成为地热利用中经济效益最好的国家之一。在华北和东北地区,天津已开采到 80°C 以上的热水,据不完全统计,天津目前共有地热井 200 多眼,采暖面积 863 万 m^2 ,利用地热水供生活热水达 4000 多万户,近百万市民通过各种渠道享用着地热资源带来的便利。北京地热采暖目前已发展到数十家,采暖面积已超过 40 万 m^2 ,采暖方式已由单一的直接采暖向间接采暖(利用换热器)、地板式采暖以及热

泵技术配合其他能源的调峰技术采暖等多种方式发展^[5]。

我国拥有丰富的江河湖海等地表水资源,除了人们熟知的7大流域(即长江流域、黄河流域、松花江流域、淮河流域、辽河流域、海河流域、珠江流域),5大湖泊水域(即鄱阳湖水域、洞庭湖水域、太湖水域、洪泽湖水域、巢湖水域)外,全国流域面积大于100km²的河流约有5万多条,流域面积在1000km²以上的河流也有1500多条,年平均天然总径流量30000亿m³;全国1km²以上的湖泊面积达74277km²,几乎与浙江省的面积相近。我国湖泊以东部平原和青藏高原最为密集,形成了东西相对的两大稠密湖群,而且我国海岸线北上起自中朝边境的鸭绿江口,南下止于中、越界河北仑河口,长达18000多千米。我国黄、渤海地区在海水温度最低的2月份,海水表面温度大部分区域也在2℃以上^[6];长江武汉段常年平均水温16~19℃^[7]。

城市污水冬季温度一般在13℃左右,而且在一年之内、一天之内的水温和水量均相对稳定,是非常优良的清洁低位热源。虽然城市污水热能赋存量很大,但从有效利用的角度不适于用做动力,而在50℃左右以下的低温区内进行利用,则有很大的潜力。据近几年的统计,全国城市生活污水排放量呈逐年增高的趋势,随着生活水平的提高,我国城污水的排放还在逐年提高。甚至有人预计到2020年城市污水年处理量将达到亿吨。

1.1.3 工业生产中可利用的低温热水

我国工业余热资源丰富,许多生产行业(如石油化工、食品加工、轻工纺织等)一方面需要一定高温位的热量,另一方面又有大量的相对较低温位的热量排出。由于这些废热的可用能值较低,所以通常的做法是直接将其排入环境。在我国,工业部门每年消耗的总能量中,以冷却水、废气和工艺过程中用水的形式排放出的废热量是相当大的,其中废热水温度一般为30~80℃。依据27个石油化工企业的不完全统计,每年有折合150万t标准煤的废热可供回收利用^[8]。

同时,凝汽式发电厂的冷源放热是工业低温余热的典型例子,由于这部分的热量品位低而一直没有被利用。近年来,虽然有些电厂采用低真空运行方式用循环冷却水来向用户供热,但为数很少,且供热量不大,多数电厂还是将这部分热量排放到自然环境中。据不完全统计,我国“三北”地区凝汽式发电厂每年约有 5.5×10^8 GJ的冷源热量未被利用^[9]。锅炉烟气等工业废气温度都很高,也能够制备大量低温热水。我国钢铁企业的二次能源量巨大,几乎占能源消耗总量的1/3。钢铁企业的废热包括高温烟气余热和冷却介质的余热等。高温烟气可制备大量的低温热水,冷却介质的余热一般温度较低,难于利用。合理利用这部分低温热水,能够有效地提高钢铁企业的能源利用率,节约能源。

集中采暖系统中,循环水泵的电耗很大,增大温差、减小流量可以降低其所需电耗,而增大温差要有可采用低温采暖的末端装置。另外,热电厂大型汽轮机组的循环冷却水进口温度一般要求不超过33℃,相应的出口温度在40℃左右,如果末端装置可在其范围内供热,可回收大量的热能。

尽管工业低温余热在热力学可用性方面是较低的,但因其数量极大,如能采用低温采暖末端装置将其加以回收利用,可减少工业能源消耗和温室气体的排放,既有助于解决我国的能源问题,又能减少能源生产过程中的环境污染,同时会产生显著的经济效益。

1.2 低温热水采暖末端散热装置的发展与现状

按照散热方式的不同,目前的散热器可以分为辐射器和对流器两类。按照国际标准对于采暖散热器的类型界定为:凡是以辐射和对流两种方式复合散热的散热器称为“辐射器”(Radiator);以单一的对流方式散热的采暖散热器,称为“对流器”(Convactor)。在我国,《采暖通风与空气调节术语标准》(GB 50155—92)定义散热器为:以对流和辐射方式向采暖房间放散热量的设备;定义对流散热器为:全部或主要靠对流传热方式而使周围空气受热的散热器。

铸铁散热器、钢制散热器等传统辐射散热器均属于辐射器,长期以来一直是采暖系统末端散热装置的主流,其设计供水温度是 95°C 。理论上讲, $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的热水也能够很好地满足 20°C 室内温度的热环境要求,而且如前所述,自然界或生产中有大量能够提供 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 热水的热源。随着人们对能源品位认识的深入和节能意识的提高,对低温热水采暖末端设备的需求日益迫切。在这样的背景下,研究与应用不同的低温水采暖方式和末端设备,也就成了本领域的热点之一。目前,国内研究的低温水采暖设备主要有低温采暖地板、采暖装饰辐射板、自然对流散热器和强制对流的散热器等。根据上述定义,前两种为辐射器,而后两种属于对流器。

1.2.1 采暖地板

热水辐射采暖的雏形始于18世纪,热水锅炉发明后,可以利用大型管道输送热水。第一个为人所知的水辐射采暖系统是1790年英国银行安装的,由John Stone爵士设计完成。

采暖地板是目前采用较多的一种低温热水采暖末端散热装置。在我国,使用地板采暖有着悠久的历史。古时的皇亲贵戚、富贾商人拥有雄厚的经济实力,有条件在其房子的青砖地面下砌好烟道,通过烟道传热并合理配置出烟口以达到把青砖加热,而后通过青砖把热量传到室内,使室内产生温暖的效果。在国外,人类为了获得舒适的室内热环境,在古罗马时期,人们就已经开始利用精心制作的火沟渠和地板下的管道系统对浴室的石质地板进行加热;朝鲜和韩国人也在数百年前运用相似的原理,在他们的房子下面使用充满石头的火炕系统进行加热。

现代辐射采暖开始于1907年,英国教授Arthur H. Barker发现将热水管道埋入地板,可以达到很好的采暖效果,并首先申请了辐射采暖的专利。同时代的原苏联亚希莫维奇工程师也在俄国组织完成了十几个辐射采暖系统。随后,辐射采暖在欧洲普通建筑中得以大规模的采用。1937年,美国Frank Lloyd Wright在一栋名为Johnson Wax的建筑中安装了辐射采暖系统,截至1940年,美国建筑名录上记载了8栋安装辐射采暖系统的建筑,其中包括学校、住宅、教堂、办公楼和飞机棚。最初人们认为辐射采暖只适用于气候温和的地区,但是随着时间的推移和技术的不断改进,证实辐射采暖能够被任何气候条件的国家和地区采用。

20世纪70年代,随着化学建材工业的发展,一批柔韧性好、强度高、抗冲击且具有一定耐热能力的化学管材的问世给地板辐射采暖带来了生机。另一方面,随着建筑节能技

术研究的深入和应用、材料保温性能的提高,使建筑物围护结构的热工性能大为改善,从而使地板辐射采暖系统供水所需温度不需很高,即可满足人的舒适性要求。这些有利因素为辐射采暖方式提供了突破性的发展机遇,辐射采暖技术重新开始吸引世人的关注,并获得了极大的发展。

20 世纪 80 年代中期,瑞士 GEOGRE、FISCHER 公司利用美国 SHELL 公司尖端化学材料聚丁烯为原料生产出 PB 管材,开创了辐射采暖使用塑料管材的先河。接着又出现了各类塑料管材,这些小口径的管材具有很好的可塑性,能够弯曲呈盘状应用,这样一来,这些管材就能够在辐射地板内无缝地整管安装,大大提高了辐射地板的整体可靠性,解决了漏水的技术问题。低温热水辐射采暖技术由此重新赢得了世界各国开发商的兴趣,他们纷纷加大力度推广,并提供相应的配套服务。

由于塑料工业和节能技术的发展,大大加快了低温热水地板辐射采暖系统的应用。该技术不仅被大量地应用于饭店、商场、展览馆、游泳馆、体育场等大型公共建筑中,而且已普及到住宅,甚至开始使用在大型室外地坪和道路化雪、四季常绿草坪、饲养场及农业种植大棚等项目。

在我国,虽然将该技术应用在住宅建筑中的起步较晚,但随着国内新材料加工技术的引进和发展,目前人们对辐射采暖系统的需求也正在日益提高。尤其是在我国北方大部分地区,采暖期普遍较长,少则 4 个月,多的达 6 个月之久。进入 10 月份后,气温开始下降,冬季采暖就成为该地区的基本生活需求。近年来,随着环保意识的增强和节能要求的逐步提高,我国北方越来越多的城市开始限制燃煤采暖。辐射采暖技术由于其特有的魅力,在北方地区得到了极其广泛的应用和发展。在各种有利因素的共同推动下,这种技术的应用已经开始成为潮流,被许多城市中高档楼盘所青睐,而且在很多重大工程和住宅建筑项目中取得了成功的应用。

采暖地板分湿式地面辐射采暖和干式地面辐射采暖两大类,目前的采暖地板大多为湿式地面辐射采暖,所谓湿式地面辐射采暖,是将特制的发热管直接埋入结构中而形成辐射地板,其设计供水温度一般为 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。由于湿式做法仅适于新建建筑,施工期长,维修困难,对高层建筑加大楼板结构负荷,对层高不大的居室降低室内有效空间高度,尤其是许多家庭装修中采用木地面,铺设龙骨时受限等不足,干式做法受到了关注。干式地面辐射采暖是将采暖元件制成辐射产品,安装在地面而形成辐射地板,一些新型的干式辐射板供水温度为 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。本书即以干式地面辐射采暖为介绍的重点。

1.2.2 采暖装饰辐射板

既然可以在地板中通过辐射达到很好的采暖效果,人们很自然地想到也可以把辐射面做成吊顶。但是基于“脚暖头寒”的健康原则和热表面在下采暖量大,冷表面在上供冷量大的认识,国外吊顶辐射一般仅用于供冷,冬季采暖另外单设一套采暖设备。早期的研究有:Schutrum 等人在 1954 年研究了一个辐射顶板房间的换热情况^[10]。Min 等人在 1956 年研究了在一个辐射采暖房间的对流换热和辐射^[11]。1957 年, Ronge 和 Lofstedt 着力于研究水系统辐射供冷对人体生理的影响,并制作了第一张辐射吊顶表面温度和室内空气温度相互关系的舒适性图表。

采暖装饰辐射板是在装饰板上加装了换热部件,既有采暖的作用,又有装饰的作用。

辐射吊顶板占用建筑空间较小、施工周期短且无需承担地面承重。欧洲较早就应用其制冷,最常用的是金属辐射板。金属水管内走水,连接于金属模块式辐射板上。但它耗费金属多,价格偏高。而且由于主要用于制冷,存在结露等较复杂的技术问题需要解决。近年来,我国学者对吊顶辐射板也做了一些探索,其中,有一种新型整体型金属辐射板,该辐射板采用两张铝板冲轧而成,增加了冷水与金属板面的接触面积,而无需昂贵的粘结剂,没有了接触热阻,单位面积冷量大幅提高,成本降低^[12]。

由于早期系统中使用的埋管管材为铁管,虽然传热性能好,但铁管和建筑结构层的热膨胀系数相差大,因而系统容易损坏,损坏了以后无法更换,且存在易结垢,抗腐蚀能力差,施工困难,耗费大量钢材等缺点。后来铁管被铜管替代,铜管的热膨胀系数和结构层的热膨胀系数较接近,但其高昂的造价使该系统大规模应用受到很大限制,辐射采暖和供冷并未得到人们的充分重视,地面采暖技术逐渐冷落下来。同时,辐射吊顶供冷系统大部分由于表面冷凝水问题导致失败,另外存在的水管断裂、锈蚀、系统漏水等现象,都阻碍了这一技术的发展。

到了 20 世纪 70 年代,随着塑料工业的发展,交联聚乙烯管、聚丙烯管、聚丁烯管、铝塑复合管等塑料管材的相继出现,使地面辐射采暖技术重新获得了世界各国的制造商、设计师、工程师以及用户的极大兴趣,开始飞速发展^[13],新技术新理论研究蓬勃发展^[14]。同时,1973 年,Obrecht, Salinger 以及 LaVanture 指出,辐射吊顶作为空调系统的末端设备,在许多建筑中已经得到广泛应用,并明确规定了辐射吊顶表面温度和供、回水温度等技术参数要求,成为现代该项空调技术的基础。尤其是 20 世纪 90 年代以后,辐射供冷与空调送风技术相结合,一定程度上解决了辐射板的冷量和冷凝水问题,使得辐射供冷的应用不局限于气候温和地区。塑料管地面辐射采暖在欧美等发达国家发展很快,自 1972 年起的 10 年中,以每年 30%~40% 的增长率提高,在这些地区已经技术成熟并且被大众和市场认同^[15]。到 1997 年,瑞士、德国和法国的采暖系统中分别有 58%、51% 和 30% 采用低温热水地面辐射采暖系统^[16]。日本把低温热水地板辐射采暖当成提高人们居住质量的举措,未设置低温热水地板辐射采暖的住宅较难出售。2002 年,美国能源部将辐射吊顶列入美国当今和未来 15 项空调节能技术之一。目前,在美国成立了世界辐射板协会(Radiant Panel Association)以促进辐射采暖的发展。

新兴起的毛细管网栅结构为薄型的采暖装饰辐射板提供了基础条件。以往的毛细管技术主要针对于供冷领域。该技术首先起源于德国,德国在 20 年前开始对毛细管网栅进行研究,已经有十多年成功的市场应用。目前毛细管网栅的市场主要集中于德国和瑞士,在该地区的很多工程中此类产品已经得到大规模的应用,并且该技术所提供的优点从相当多的工程实例,欧洲毛细管铺设面积超过百万平方米。德国城市柏林的议会大厦和 Zollernhof 大厦、德累斯顿的 Saxonia 会展中心、法国巴黎的 Beaune 酒店和雀巢总部、英国伦敦的肯辛顿宫和 Hypo 银行等均不同规模的应用毛细管产品,效果良好^[16]。日本也开始引进该产品,东京的信息花园铺设了 2600m² 毛细管作为试点工程^[17]。现在这项技术也已经推广到美国和南美国家使用。

毛细管网栅结构以塑料为材料,制成直径小(外径 3~4mm)、间距小(10~30mm)的密布细管,两端与分水、集水器相连,形成毛细管网栅结构。由于它的散热表面积大,可以达到传统水管表面积的数倍,只需用低于传统系统 8~10℃ 温度就可以达到同样的采

暖效果。毛细管采暖装饰辐射板就是采用毛细管网栅作为加热构件,充分利用低温热源,30~50℃的热水就能达到很好的采暖效果。控制板材厚度不超过2cm,采用预制型,很好地解决了当前低温热水辐射采暖系统中施工不便的问题,而且采暖、装饰一体化,吊顶与侧壁安装时能够满足现代装修需要^[18]。

毛细管网的制造技术是一项新的技术,国内起步较晚,近几年国内开始引进这项技术,我国有少数几个公司与德国合作销售安装相关进口产品,并开始毛细管生产和以毛细管核心的采暖末端装置,如辐射板、重力循环空调、薄型散热器等。在“十一五”国家科技支撑计划的资助下,哈尔滨工业大学和北京开思拓维设备材料有限责任公司联合开发内含毛细管网栅的立体装饰辐射板,完成了毛细管采暖辐射板的选材、设计与试制,经国家散热器质检中心(长春市)测试,性能良好。目前,该产品已经用于示范工程。

1.2.3 自然对流散热器

自然对流散热器是以自然对流的方式而使周围空气受热的散热器,也称为重力循环采暖装置,本书介绍的重力循环采暖装置由哈尔滨工业大学和北京开思拓维设备材料有限责任公司联合开发,是“十一五”国家科技支撑计划项目的成果之一。该设备于2009年6月通过专家评审会,评审专家认为,“该装置可利用30~40℃低品位热水采暖,具有换热面积大、适用范围广、低风速、低噪声等优点。有利于可再生能源和低品位能源在建筑领域的应用,对节约高品位能源具有重要意义,为我国低温采暖提供了一种新型的设备,填补了国内空白,达到了国内领先水平”。目前,该设备已在上海市闵行区颛兴路千年建设咨询公司办公楼安装试运行,经过两个采暖季的试运行,用户对产品表示满意。

自然对流散热器是一种新兴的技术产品,可兼顾冬季采暖、夏季供冷的功能。该装置利用冷热空气的密度差作为系统循环的动力,驱动室内空气循环,从而达到调节室内空气的目的。该装置属于毛细管技术的一种全新的产品应用,内部装设多排毛细管网作为换热元件,主要依靠内部循环水与空气换热。它的散热表面积大,可以达到传统水管表面积的数倍,因此可利用30~60℃低温水就可以达到与传统散热器同样的采暖效果^[19]。因此,该设备可利用和回收大量的低品位热能,具有换热面积大、所用水温低、送风风速低而无吹风感等优点。

国内近年来已有许多成功的毛细管网工程应用,2005年建成的清华大学节能示范楼,汇集了当今世界上最先进的建筑节能技术和产品,其中的毛细管网平面辐射空调备受关注。之后的一年多时间里,一些高档楼盘和办公楼等也都使用了这一技术,如北京科委的创业大厦、北京万万树别墅区、南京锋尚社区等项目。2006年1月,北京某公寓成功采用毛细管供冷采暖末端加置换式独立除湿新风的末端系统,竣工后,效果良好。2007年12月,上海颛桥镇某办公楼采用采暖装饰辐射板加重力循环采暖装置系统,经过两个采暖季的运行,用户反映良好。

1.2.4 强制对流散热器

空调系统通过风机盘管送出空气来对房间进行供热,是设置相应空调系统的建筑常用的方式。当建筑仅需要采暖而不需要供冷时,采暖型风机盘管就应运而生了。采暖型风机盘管自从2003年由邵进良^[20]提出出来后,国内逐渐出现了专门针对采暖系统特点设计制作

的采暖型风机盘管。就其工作原理,采暖型风机盘管属强制对流散热器,主要由铜铝翅片管及贯流式风机构成,具有启动时间短、控制方便、可采用多种低温热源等优点。

2005年兰州白银福来特室内环境设备有限公司根据专利技术生产出适合民用建筑的小风量、小散热量的TLQD 13系列强制对流散热器,该系列采用U形翅片管及小风量离心风机。2007年,与哈尔滨工业大学合作在TLQD 13系列散热器的基础上开发出由U形并联翅片管及贯流风机构成的TLQD 11系列强制对流散热器,减小了结构尺寸,却提高了散热性能。2006~2007年,天津泰来暖通设备有限公司在前三代散热器的基础上研制出智能化集温控、湿控、净化、消毒于一体的第四代智能健康空气机,采用传统风机盘管技术——蛇形翅片管及贯流风机,一台机器完成室内温度、湿度、洁净度、杀菌消毒、增氧和空气流动的设定、控制、实施和监测等功能,使室内空气品质达到最佳舒适度。

2008年,长春绿帝散热器有限公司对汽车空调进行改造,并采用线型鳍片高效翅片管及大风量贯流风机,生产出适合工业厂房的大风量大散热量的ZSQ系列智能温控散热器。2009年,该公司在ZSQ系列散热器的基础上开发出适合民用建筑的YSQ系列遥控散热器,结构尺寸得到了减小,但散热性能保持不变。

国内的强制对流散热器还有济南沃尔特的水空调、广州露玛暖通的LML系列全铜水道对流散热器及无锡中太的智能散热器等。从传热机芯可以看出,国内的强制对流散热器都是从传统风机盘管或汽车空调简单改造形成,从而存在一些技术问题需要克服,如风机转速大小引起的翅片管换热效率与设备噪声的对立问题,翅片管结构尺寸引起的翅片管换热量与设备制造成本的对立关系等。解决这些技术问题需要通过分析系统的初投资和运行费用,并讨论降低生产成本和提高采暖效果的综合优化技术措施来解决。

而在国外,强制对流散热器一般称为风机对流器(Fan Convector),如美国民生散热设备有限公司的风机对流器、英国比德尔空气系统有限公司的风机对流器及英国史密斯环境设备有限公司的风机对流器等。国外的强制对流散热器制造技术成熟,换热效率高,规格较多,如悬挂式、落地式等,但仍存在着风机转速较大、制造成本较高等技术问题。

通过对比国内外强制对流散热器的发展水平及现状,可知由宽叶片贯流式塑料风机、多级调速交流电机、铜管波纹双曲开缝式铝翅片及百叶窗式塑料风口构成的强制对流散热器将是今后的发展趋势,同时还得考虑设备的多功能作用,如加湿、净化、杀菌等。

参考文献

- [1] 贺平等. 供热工程. 北京: 中国建筑工业出版社(第三版), 1993
- [2] 于凤菊. 低温地热能的利用研究[硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2003
- [3] 方荣生等. 太阳能应用技术. 北京: 中国农业机械出版社, 1985
- [4] 冯雅. 西藏地区太阳能采暖的利用. 建筑节能, 2006(42): 94~97
- [5] 林丽. 地热能利用现状及发展前景. 资源与产业, 2006(8): 20~23
- [6] 贾瑞丽, 孙璐. 渤海、黄海夏季主要月份的海温分布特征. 海洋通报, 2002(4): 1~8
- [7] 文远高. 武汉地区的低温热能资源及其利用方式. 节能与环保, 2004(6)
- [8] 郁永章. 热泵原理与应用. 北京: 机械工业出版社, 1989
- [9] 杨玉恒. 发电厂热电联合生产及供暖. 北京: 水利电力出版社, 1989
- [10] Schutrum. L. F, G. V. Parmelee and C. M. Humphreys. Heat exchangers in a ceiling panel heated room. ASHRAE Transactions, 59: 197~204

- [11] Min. T. C et al. Natural convection and radiation in a panel heated room. ASHRAE Transactions, 62: 337~343
- [12] 殷平, 杨芳, 刘敏. 新型辐射板的研制. 2004 全国暖通年会论文集. 北京: 中国建筑学会暖通专业委员会, 2004
- [13] 王子介. 地板供暖及其发展动向. 暖通空调, 1999 (6): 35~38
- [14] Bjarne. W. Olesen. Possibilities and Limitations of Radiant. ASHRAE Trans. 1997, 103(1): 42~48
- [15] 邹利, 高璞珍, 刘秋新. 国外地板辐射供暖技术特点. 煤气与热力. 2005 (11): 68~70
- [16] 孙德兴, 陈海波, 张吉礼. 低温热水推广技术中尚需研究解决的问题. 暖通空调, 2002 (3): 99~102
- [17] Clina company presentation. [http: //www. clina. com](http://www.clina.com)
- [18] 狄文静. 毛细管供暖饰板材开发与实验研究 [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008
- [19] 李翠敏. 重力循环冷热装置的仿真模拟与分析 [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007
- [20] 邵进良. 供暖型风机盘管在供暖分户计量系统中应用的探讨. 暖通空调, 2003 (1): 114~115