

文章编号: 1671-6612 (2021) 04-509-05

# 温和地区建筑采暖需求与地域适应性策略研究

王志浩 刘金欣 李彤 邓诗涵

(昆明理工大学建筑工程学院 昆明 650500)

**【摘要】** 建筑领域的节能减排对推动实现我国碳达峰和碳中和目标至关重要, 而因地制宜的建筑供暖是支撑政策目标、解决民生需求、适应地域特色的新课题。通过政策规范梳理, 结合温和地区的地理、气候和民族性特色, 论证了温和地区冬季采暖的需求现状。基于节能减排和地域适应性视角, 提出了温和地区建筑采暖的冷热源和末端设备选择策略。可为该地区建筑领域减碳和人居环境改善提供参考。

**【关键词】** 温和地区; 供暖; 节能减排

中图分类号 TU832 文献标识码 A

## The Requirement and Regional Adaptability Strategies of Building Heating in Temperate Zone

Wang Zhihao Liu Jinxin Li Tong Deng Shihan

(Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650500)

**【Abstract】** The energy saving and energy efficiency of buildings related engineering field were vital for China to fulfill the low-carbon requirements and to react the climate change. Regional strategies of building heating were the key to support the policy regulation, to solve the people's needs, and to satisfy the regional characteristics. This research based on the current literature and the geology and climate conditions of the mild climate zone, identified the requirements of building heating during the winter season. Then the available heating technologies were analyzed for the suitability in the mild climate zone. This study could provide foundation for the carbon-emission reduction and references for the improvement of indoor environment.

**【Keywords】** Temperate zone; Heating; Energy-saving and emission reduction

基金项目: 国家自然科学基金 (51968030)

作者简介: 王志浩 (1984-), 男, 博士, 教授, E-mail: wangzhihao@kust.edu.cn

通讯作者: 邓诗涵 (1987-), 男, 博士, 讲师, E-mail: sdeng@kust.edu.cn

收稿日期: 2021-06-26

## 0 温和地区气候条件与采暖需求

### 0.1 温和地区气候条件

高原是指海拔超过 500m, 面积较大, 地面起伏较小, 周围形成陡坡的高地, 海拔高、接受太阳辐射强、日照时间长、昼夜温差大, 而其地势相对高差和气压较低。低纬度地区是指纬度低于 30° 的地区。低纬度地区由于太阳高度角大, 且在热带气团和赤道气团的控制下年温差较小, 四季温度区别不明显, 但由于频繁的季风活动, 旱季与雨季区别明显, 降水量在两季差别较大, 全年降水基本集

中在雨季。

低纬高原地区综合了高原和低纬度地区的两者特点, 以季风气候为主, 旱季少雨, 雨季时靠近湿润气流一侧降水量较大, 远离湿润气流一侧相对较少, 但比旱季也有显著提升。全球低纬高原地区主要有 10 个: 北美洲的墨西哥高原, 南美洲的安第斯高原、巴西高原和圭亚那高原, 非洲的埃塞俄比亚高原、东非高原和南非高原, 西亚的印度半岛的德干高原、阿拉伯半岛的希贾兹—阿西尔高原, 东亚有中国的云贵高原。

低纬高原城市最显著的气候特点就是“四季如春”，即一年四季区别不明显，夏无酷暑、冬无严寒，总体温差与其他非低纬高原城市相比较小。地处云贵高原的“春城”昆明，2017 年最热月 6 月的平均温度为 20.9℃，比北京最热月 7 月平均气温 27.9℃低 7℃，比重庆最热月 7 月平均气温 31.3℃低 10.4℃，比上海最热月 7 月平均气温 31.9℃低 11℃；最冷月 12 月平均温度为 9.3℃，比北京最冷月平均气温 -0.2℃高 9.5℃，比上海最冷月 12 月平均气温 7.1℃高 2.2℃，比南京最冷月平均气温 5.3℃高 4℃。低纬高原城市相对于其他地区而言气候较为舒适，具有“冬暖夏凉”的气候特征<sup>[1]</sup>。

《民用建筑热工设计规范》中以 26℃为基准的空调度日数和以 18℃为基准的采暖度日数将全国分为五个建筑热工设计一级分区。昆明作为我国低纬高原的代表性城市，在规范中归为温和地区，其设计原则可总结为“应考虑冬季保温，一般可不考虑夏季防热”<sup>[2]</sup>。

昆明是云南省会，地处云贵高原，气温年较差较小，日较差较大，夏天凉爽宜人，冬季虽然极端严寒天气较少，但大部分居民仍然有一定程度上的采暖需求。

### 0.2 温和地区采暖需求

行业内就“南方需要供暖吗？”这一话题的讨论中可以发现，以“秦岭-淮河线”作为供暖与否的判定条件已不能满足人民对生活水平提升的追求，但在南方地区如何供暖却依旧是行业内的争论焦点。尽管“一线定南北”有不严谨之处，但是如果供暖要向南方扩展，供暖作为一种大规模、系统化的公共服务，应当经过深思熟虑，不能仓促上马<sup>[3]</sup>，特别是在具有优良气候条件的温和地区。

首先，尽管温和地区的最冷月平均温度为 0~13℃，但日平均温度≤5℃的天数仍然为 0~90 天，且昆明以 18℃为基准的采暖度日数 700≤HDD18<2000，大致上与某些北方集中供暖城市如西安、济南等数值相近。这证明在昆明进行采暖有一定程度上的必要性和紧迫性。

其次，前期调查中发现，以蒙自、瑞丽等城市为代表城市的温和 B 区，超过半数居民对于当地的室内热环境感觉适中（占比为 54.3%）；而以昆明、丽江等城市为代表的温和 A 区，近半居民对于当地的室内热环境不太满意（占比为 43.9%）。

通过实际热感觉投票和温度频率法计算中也得出温和 A 区冬季的热中性温度为 17.0℃，最低接受温度为 11.5℃；温和 B 区的热中性温度为 18.1℃，最低接受温度为 16.6℃<sup>[4]</sup>。热中性温度和前述的地区冬季气温相比较，得出温和地区的相当部分居民对冬季室内热环境满意程度比较低。

在一项针对昆明市主城五区内居住建筑的调研中，收集了 298 户居民的家庭用能设备类型与占比、用户对夏季无空调、冬季无供暖状况的室内满意度。调研中发现，除电磁炉、电冰箱、热水器等常见家用电器外，电风扇和空调占比较小，拥有电风扇的家庭占比仅 17%，而拥有空调的家庭仅占 5%（见图 1）。居民家中空调等电器设备保有量较低的事实也与相应的调查年鉴数据（2018 年昆明市城镇居民每百户耐用消费品拥有情况中，空调 4.14 台）的现状类似<sup>[5]</sup>。

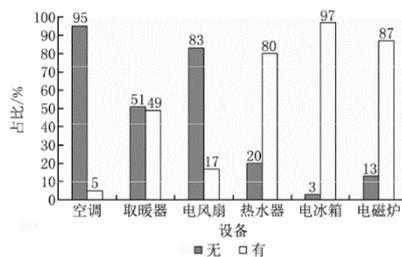


图 1 家庭用能设备类型与占比

Fig.1 Types and proportions of household energy consumption equipments

而同一项调研中居民对于夏季无空调和冬季无供暖的满意度反馈中发现，昆明市居民对夏季无空调现状满意度较高，居民对住宅室内热环境可接受、较满意和满意的比例为 94.5%；而居民对冬季住宅室内热环境较不满意和不满意比例超过 35%，说明昆明市居住建筑也有一定的供暖需求（见图 2）。加之近年来短时极寒天气频发，居民会临时选择使用电取暖器、暖风机（扇）、地面辐射供暖等取暖设施和系统，导致供电负荷会急剧上升，如调研中发现，昆明市拥有取暖器的家庭占比为 49%<sup>[6]</sup>。

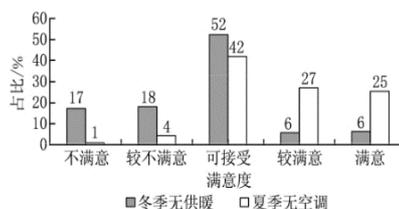


图 2 用户对夏季无空调、冬季无供暖满意度统计调研

**Fig.2 User Satisfaction survey of no air-conditioning in summer and no heating in winter**

因此,在温和地区有供暖需求且国家能源总量控制的前提下,制定相应的供暖政策和因地制宜的发展和推广供暖策略,是切实提高区内人员热舒适性和人民获得感的现实性和前瞻性课题。

## 1 温和地区冬季采暖的热源

温和地区居民受气候条件、经济水平、风俗习惯等方面的影响,更加关注采暖的舒适性与经济性等边际效益。温和地区对采暖设施的选择较为单一、严重依赖设备从而忽视了建筑物自身构造、围护结构的作用。因此下文对各种供暖方式进行简要的介绍和分析,通过定性的手段对适合温和地区气候条件和人民需求的采暖设施与系统进行探讨。

### 1.1 加强围护结构保温

温和地区气候条件温和,冬季最低平均气温小于 5℃的天数不超过 90 天,因此,适当增强围护结构保温性能,是改善冬季室内热环境较为简易可行和行之有效的方法之一。温和地区夏季主要采用开窗进行自然通风等被动式手段来消除室内冷负荷,所以过低的围护结构传热系数也会严重影响夏季温和地区建筑通过围护结构进行散热的过程。因此,应当选择保温性能适当的围护结构材料。此外,为了满足夏季自然通风的需要,温和地区建筑窗墙比较大,导致冬季冷风渗透情况比较严重,因此,在提高外墙保温性能的前提下,还应采取提高窗户保温性能的措施,如采用双层玻璃、加强窗框的气密性等。

### 1.2 被动式太阳能技术

温和地区太阳辐射强度较高,日照时间长,地表上空大气密度小且厚度薄,具有丰富的太阳能资源。全年太阳高度角变化不大,冬夏半年太阳可照时数差别小,因此云南全年太阳辐射分配较均匀,省内年平均太阳能辐射能相当于 731.5322ton/a 的标准煤。因此,在温和地区采用被动式太阳能技术可作为高效且经济的供暖方式。

被动式太阳能利用是借助于建筑本身的合理设计将太阳能吸收、存贮、再分配,通过规划设计、形体以及空间布局、被动式采暖及降温技术和材料的合理搭配,使建筑不依靠机械而以自然方式利用太阳能。

考虑到温和地区的气候条件、经济水平及风俗习惯,造价高昂、维护费用较高、技术水平复杂的整体被动式太阳能建筑在云南普适性不强,因此,本文仅就被动式太阳能建筑中针对采暖的被动式太阳能采暖技术(直接受益式、集热蓄热墙式和附加阳光间式)进行讨论。

直接受益式是指冬季阳光直接通过透光材料进入室内的采暖方式。大部分太阳能被蓄热体吸收、储存并转换成长波辐射,从而使房间空气温度升高<sup>[7]</sup>。这种最基础的利用太阳能的方式需要考虑到两个问题:一个是透光材料对太阳辐射的透射率要高,二是墙面、地面、屋面等主要蓄热体的蓄热性能要好。直接受益式的优点是:采暖方式简单、造价低廉、兼顾采光的同时确保采暖,缺点是室内温度波动较大、调节主要依靠室外天气条件且如果不添加遮阳设施会严重影响夏季室内热环境的营造,导致夏季室内过热的情况。

集热蓄热墙式又称特伦布墙,指利用建筑南向立面外涂高吸收系数的无光深色涂料并以密封玻璃覆盖而成。特伦布墙具有较好的蓄热能力,因此房间温度波动最小、舒适感好。为了增加太阳能的吸收率,南向集热墙表面需要涂黑,涂料的耐用性也值得商榷,建筑立面的处理难度很大。

附加阳光间式是在建筑南向用透光材料建造的能够封闭空间,并用蓄热墙(也称公共墙)将与阳光间邻近分隔,墙上开有门窗。白天太阳辐射加速了阳光间与邻近房间的空气对流循环,原理类似于集热蓄热墙式,只是夹层加宽<sup>[8]</sup>。它的优点是本身可以作为起居空间和温室来使用,提高了空间利用效率,作为室外和室内温度条件的缓冲空间,有效地减少了室内环境的热损失。

### 1.3 空气源热泵

空气源热泵是一种利用高位能使热量从低位热源空气流向高位热源的节能装置。空气源热泵按容量分类可分为两类:一类是大、中型空气源热泵冷热水机组,另一类为分体式空气-空气热泵。前者制热运行时冷凝器多采用以水作为载热介质的壳管式换热器,通过水系统二次换热向用户供热,后者多采用风冷式翅片管冷凝器直接向供热环境散热<sup>[9]</sup>。在早些年的实际使用过程中,两种热泵的工作状况并不理想,主要是因为室外冷凝器存在不同程度上的结霜和除霜现象,从而使得机组出现能

源浪费与 COP 急剧降低的不利现象。近年随着热泵除霜性能的提升,空气源热泵成为温和地区冬季采暖的较佳选择。

日本学者对不同空气源热泵机组的试验研究表明,空气源热泵在 $-6^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度(RH)在65%以上的气象条件下运行其室外换热器表面是最容易结霜的。影响空气源热泵室外换热器结霜现象的主要气象参数是温度和相对湿度,温度越低,相对湿度越大,室外换热器表面就越容易结霜。而温和地区冬季具有相对湿度较低的特点,昆明冬季气温 $< 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 $\leq 90\text{d}$ ,相对湿度一般不超过60%。温和地区冬季气候适宜,“不易结霜”这一温和地区得天独厚的优势气候条件仍然为空气源热泵产业在当地的发展创造了较大的空间。

#### 1.4 主动式太阳能技术

利用太阳能的方式除了前文中的被动式技术,还包括一系列主动式技术。主动式太阳能供暖技术的主要手段就是通过太阳能集热器将太阳能转化成热能,并采用不同的储能技术将热量存储起来再加以使用。

太阳能供热采暖系统是指将太阳能转换成热能,供给建筑物冬季采暖和全年其他用热的系统,系统主要部件有太阳能集热器、换热储热装置、控制系统、其他能源辅助加热/换热设备、泵或风机、连接管道和末端供热采暖系统等。太阳能集热系统是太阳能供热采暖系统的主要组成部分,而太阳能集热系统又分为直接式太阳能集热系统(在太阳能集热器中直接加热水供给用户的太阳能集热系统)和间接式太阳能集热系统(在太阳能集热器中加液体传热工质,再通过换热器由该种传热工质加热水供给用户的太阳能集热系统)<sup>[10]</sup>。

太阳能集热器是一种吸收太阳辐射能的装置,通过吸收一定波长的太阳辐射,将太阳辐射转化为其他形式的能量,集热器种类很多,对于不同类型的集热器,其转换太阳能的能力是不一样的。对于不同的太阳能集热器,其形状大致可分为管状、平板、管板结合类型。真空管集热器是结构最简单也最基础的集热器,在此基础上又改进出了U型管和热管真空管集热器,他们的使用特点是:热效率高、可水平安装、安装简单。平板集热器相对于管状集热器来说,它具有良好的抗压能力,形态结构简单灵活,易于安装和维护,被广泛应用于建筑一

体化集成应用,同时平板集热器具有热效率高、性能稳定等特点。在太阳能低温利用领域占有很大的市场,是太阳能光热采暖利用系统的重要组成部分<sup>[11]</sup>。

对温和地区来说,应用上述的以集热系统为主要组成部分的太阳能供热采暖系统具有先天的优势,除了温和地区太阳能资源丰富之外,也正是由于这个原因——民众本身已经广泛利用太阳能集热装置进行生活热水的供应。这代表温和地区人们对这项技术本身的认可度和接受度较高,这为主动式太阳能技术在温和地区的推广创造了极为有利的条件,这意味着只需要更换更大的集热器系统或者在原有集热器系统的基础上加装控制系统、其他能源辅助加热设备、泵或风机、连接管道和末端供热采暖系统就可以实现利用太阳能进行采暖活动,大大降低了工程的投资和成本。

## 2 温和地区冬季采暖的末端

不同的采暖末端系统所适配的热源系统不同,相应的,每种末端系统提供的热舒适感也有所区别。接下来,将分别介绍散热器采暖系统、低温热水地板辐射采暖系统和水-空气处理系统三种采暖末端系统的用能特点、所营造的室内热环境以及相应的人体的热舒适感。

### 2.1 散热器

散热器的采用主要对应的是集中供暖系统。集中供热锅炉容量大、热效率高、经济性和供热质量好,污染物排放处理设施完备、处理效果好、环境污染较小。然而,集中供暖模式庞大的供热管网、基础投资大、输配能耗高、调节不灵便、不能适应在时空上复杂多变的供热负荷。

北方集中供暖系统存在以下常见问题:能耗高;室内热环境高温低湿,健康舒适水平不高;运行管理方式简单,用户自决权小,不能满足不同家庭、不同个体的个性化需求;投资大,计量收费很难公平合理。很明显,北方集中供暖体系不适合温和地区的社会模式和节能减排,它会与在市场经济条件下高速发展的多样化的供暖需求产生诸多难以解决的矛盾和问题。温和地区不能照搬北方集中供暖方式,应基于现代科学技术建立新型的供暖体系,它应是健康的、舒适的、高效能的,以及社会环境友好的。

散热器只能调温不能调湿,难以进一步提高室内热环境的健康舒适水平。多消耗能源将室温由 18℃ 提高到 20℃ 甚至更高,虽然冬季在室内的穿着可以像夏天一样单薄,但是由于相对湿度的进一步下降(低于 30%),室内过于干燥,反而使舒适度下降。从南方到北方生活的人尤其不适应<sup>[12]</sup>。

## 2.2 低温热水地板辐射采暖系统

低温地板辐射采暖是一种利用建筑物内部地面进行采暖的系统,以低温热水做热媒,通过埋设与地板内的管材加热,实现大面积均匀地向室内人体、家具及四周围护结构进行辐射换热,辅以对流传热来达到加热室内空气,从而使其表面温度提高,造就一种符合人体舒适要求的室内热环境。

低温热水地板辐射供暖方式能够有效地利用低温能源,具有热性能稳定、室温均匀、舒适、节能、免维护、管理方便等特点<sup>[13]</sup>,是一种理想地供暖方式,它与散热器供暖方式有以下差别和优势:地板采暖比散热器采暖更节能,设计室温可比暖气采暖方式低;人体感觉更加舒适;水平温度分布比散热器采暖方式更均匀,没有较大的波动;室内风速比散热器采暖方式要小得多;地板采暖方式的热源热储量比散热器采暖方式大得多,室内温度更稳定<sup>[13]</sup>。

## 2.3 常见风系统末端设备

风机盘管属于中央空调系统末端。盘管内冷冻水或热水时与管外空气换热,使空气被冷却、除湿或加热来调节室内的空气参数。它往往是针对集中式供热系统的一种末端装置,常常被应用到前文提到的空气源热泵或者冷热电三联供系统中。定风量系统为空调机吹出的风量一定,以提供空调区域所需要的冷(暖)气。当空调区域负荷变动时,则以改变送风温度应付室内负荷,并达到维持室内温度与舒适区的要求。常用的中央空调系统为空调机与冷水管系统。这两者一般均以定风量来供应空调区,为了应付室内部分负荷的变动,在空调机定风量系统以空调机的变温送风来处理,在一般风机盘管系统则以冷水阀控制来调节送风温度。变风量系统是送风状态不变,用改变风量的办法来适应负荷变化。风量的变化可通过专用的变风量末端装置来实现,末端装置可分为节流型、旁通型和诱导型。变风量系统根据室内负荷变化或室内要求参数的变化,保持恒定送风温度,自动调节空调系统送风

量,从而使室内参数达到要求的全空气空调系统。

这几种供暖的末端装置的优势是装置结构简单,成本低廉,能够有效地控制室内温度,但对于温和地区来说,由于普通民用建筑中夏季对空气调节的需求主要靠自然通风来实现,因此,这就意味着这几种风系统末端装置全年利用率较低,投资回收期较长。所以应当考虑应用在使用集中供暖系统的大型公共建筑中。

## 3 结论

本文通过对温和地区的地理和气候环境特点分析,结合文献综述得出温和地区存在一定的供暖需求。之后根据温和地区适合的采暖冷热源和末端设备,分析温和地区可行的供暖技术策略。

温和地区建筑应普遍采取通过透光材料接受太阳能辐射和提高围护结构蓄热能力等直接受益式的被动式太阳能技术提高冬季室内热舒适度。此外,可根据建筑类型进行以下形式的补充。对于大型公共建筑来说,可以采用冷热电三联供—风机盘管、冷热电三联供—变风量系统、冷热电三联供—地板辐射供暖、空气源热泵—变风量系统等热源与末端组合的形式进行采暖。对于普通居住建筑来说,可以采用空气源热泵—地板辐射供暖、太阳能集热器系统—地板辐射供暖、普通家用分体式空调等热源与末端组合的形式进行采暖。

由于篇幅的限制,本文仅从技术特点与建筑用能需求的角度对适宜温和地区的采暖技术进行了简单的讨论和分析。从工程技术的实施与落实上来说,还要从政策规范、能耗模拟、成本控制、用能特点、运维管理模式等多角度进行深入透彻的探讨与研究。因此,今后在对这一问题的研究中,还要从细节入手,更加贴合实际,深入细致地研究出一条适宜温和地区的供暖技术发展路径。

## 参考文献:

- [1] 周艺.昆明市呈贡新城区热湿环境特征研究[D].昆明:昆明理工大学,2020.
- [2] 杨柳.建筑气候分析与设计策略研究[D].西安:西安建筑科技大学,2003.
- [3] GB/T 51350-2019,近零能耗建筑技术标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.