

我国民用住宅建筑节能研究现状

重庆大学城市科技学院 黄涛 赵倩 黄忠

摘要: 简要分析我国建筑能耗现状,从功能型和技术型两大方面总结民用建筑节能研究进展。功能型建筑节能主要包括建筑实体的设计节能和围护结构的节能。在满足功能型建筑之后,再从既有建筑的设备系统着手,从技术方面阐述暖通空调设备系统的节能设计及研究内容。通过总结建筑节能研究工作,着重阐述农村建筑节能研究概况。针对装配式等建筑新模式的出现,提出对建筑技术节能研究的展望。

关键词: 建筑节能 能耗 功能型 技术型 农村建筑

Research on Energy Saving of Residential Buildings in China

HUANG Tao, ZHAO Qian, HUANG Zhong

City College of Science and Technology, Chongqing University

Abstract: It briefly analyzed current situation of building energy consumption in China, and summarized from functional and technical aspects research progress of energy saving in civil buildings. Functional building saving mainly included the design of the construction entity and enclosure structure energy saving. It expounded the energy saving design and research contents of HVAC equipment system from the technical aspects on existing building, after met functional building needs. By summarizing the research work on building energy saving, it stressed the research situation of rural buildings. Aiming at the emergence of new building models such as prefabricated buildings, it put forward the prospect of research on energy saving of building technology.

Keywords: building energy saving, energy consumption, functional, technical, rural construction

0 引言

2017年党的十九大报告提出建设美丽中国的号召,这对工业、交通、建筑三大能耗巨头实施节能工作提出更高要求,而降低能耗,实现绿色排放是响应号召的重要途径之一。

国家经济发展是建立在一定的能源消耗基础之上的。目前发达国家,如美国,建筑能源年消耗量居世界前列。为减少能耗,美国政府对节能企业、用户采取经济激励政策,鼓励个人或集体使用节能产品、采用节能技术,宣扬节能知识和节能意识。德国、

美国、英国和日本政府也采取了节能措施,通过银行等金融机构对节能企业或相关建筑节能项目提供低利息的借贷资金。同时德国政府对既有建筑节能改造的资金投入力度非常大,改造过程中激励性地推行使用新型节能产品、节能技术和清洁能源。法国、芬兰、印度尼西亚等国都采取了控制税收并实行经济刺激政策,对新能源的使用或新节能技术的应用给予经济补贴,以控制用电和用油量。此外,德国、芬兰、法国、丹麦、菲律宾、泰国等国相关机构制定节能法规,倡

作者简介: 黄涛(1990-),女,硕士;重庆市永川区重庆大学城市科技学院(402167); E-mail: taotaodo@163.com
基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1602301)

导节能行为,比如随手关灯、将电器待机改为关闭状态、多采用室外自然光源等,取得了一定效果^[1-2]。

2015年,我国建筑能耗占能源年总消耗量的20%,比重达到近几年峰值。而在中国发展节能建筑或推行经济激励政策是不能完全照搬西方模式,须综合考虑国家经济应变能力、地方能源、本土建筑结构特性、节能技术的掌握程度等各方面因素。

建筑能耗中,民用居住建筑能耗随居民生活要求提高,能耗量增大。在我国城市郊区化、田园化等逆城市化建设的同时,村镇建筑的节能改造工作还相对较弱,有很大的节能空间可操作。由于城市和农村建筑使用模式(人行为),建筑形式、系统设备的使用效率和可调节性都不同,城市建筑较为集中,整体可控性较好,但改造起来较为困难,而农村建筑分散,能耗设备的配置等情况不好量化统计,城镇和农村的生态、节能改善措施就不尽相同,同时人们的节能意识不强,造成农村建筑结构和技术上的节能受阻。所以,民用居住建筑节能工作应受到足够重视。

1 国内建筑节能研究进展

图1所示为2005-2015年我国建筑能耗情况,“十二五”期间,随着建筑行业的发展,我国的建筑能耗有一定幅度的上升,2015年中国建筑能耗达到全国总能耗的20%,这给建筑节能工作造成很大的冲击压力^[3]。以下从建筑实体节能、围护结构节能和暖通系统节能三个方面总结目前建筑节能领域的研究内容。

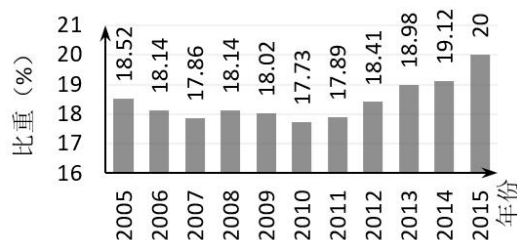


图1 我国建筑能耗占全国总能耗比例

1.1 建筑实体节能

建筑实体的构造及风格受到地域影响,为了充分利用地域特点,如太阳辐射、自然风、水域条件等,建筑的选址、布局、朝向等都成为建筑实体节能设计的重要内容。

同济大学胡一东等^[4]以上海地区为例,建立3种不同布局的住宅区模型,分别模拟室外风环境,得出不同季节时点式布局通风性最佳,其次是行列式,围和式效果最差。天津大学张海滨^[5]通过 Design Builder 软件对平面长度、宽度、高度三种建筑体型参数进行能耗模拟,得到三个参数与建筑能耗的定量关系,通过该定量函数关系可求得最有利节能的体型参数设计组合值并且通过实例得到可靠性的验证。不同地区建筑体型系数选取有所差别,徐闯^[6]围绕大庆地区建筑体型、朝向、主导风向等建筑实体设计的优化开展研究,分析体形系数对建筑能耗的影响,找到建筑风格设计与节能设计的矛盾平衡点。针对地方建筑特色,重庆大学郝汗青,宋平等^[7-8]对重庆农村建筑的堂屋方位、户门形式进行结构布局,改善堂屋两侧的室内温度及通风条件,并在堂屋前设置阳光间,改善室内采光和热源利用情况,进而减少高品位能的使用。

建筑形体、构造、布局、朝向等设计是节能建筑基础,建筑设计过程中存在不可避免耗能时,既有建筑节能成为研究重点,这也是节能建筑和建筑节能概念的区别所在^[9]。

1.2 建筑围护结构节能

建筑围护结构的节能将使得建筑表皮“可呼吸化”,具有生命力和再生力,是建筑节能必须考虑的重要突破途径。围护结构的节能内容比较丰富,涉及的细节较多,如墙体材料及构造、门窗材料及构造、屋顶形式、通风及保温、遮阳采光等设施的辐射传热性能、外围护结构的绿化等。

西安建筑科技大学李海^[10]提出对

绿色建筑合理选址与布局、建筑体型合理设计、利用建筑间距实现最大限度自然采光和自然通风、被动式太阳房的设置、屋顶保温隔热、墙体内外保温等 75 种节能模式的组合应用,可实现绿色、生态建筑的建设。重庆大学贺瑶,丁星龙^[11]总结夏热冬冷地区农村建筑传统的节能技术,从村民节能意识和可行性建设研究出发,提倡传统和现代节能技术结合,从建筑结构技术、设计技术、材料技术上改善,从而优化通风、辐射、保温等方面的室内环境热舒适性,做法更易为村民接受。

西南交通大学徐伟^[12]对成都新农村住宅的采光、通风、绿化等传统节能方式应用情况做了调研,并利用 Ecotect 能耗模拟软件模拟双层墙体在建筑中的散热损失,同时将双层墙配合其他常用节能措施,来改善农村住宅的热工性能。针对墙体保温,顾天舒等人^[13]分别对建筑外墙外保温、外墙内保温、夹心保温特点做了对比,阐述了三种保温方式适用的节能材料和施工技术,并提倡外墙外保温作为墙体节能的主要形式。

西南大学罗利江,彭力鲍等^[14]从围护结构材料方向出发,研究混凝土和秸秆复合的秸秆草砖墙的热工性能,并设计出适宜于重庆农村建筑的复合墙草砖尺寸及复合方式,提高了生物质能的利用率。值得注意的是在 2017 年,建材领域获得了世界级突破性成就,潘锦功博士的团队研制出中国拥有完全自主知识产权的全世界最大单体面积的确化镉“发电玻璃”,这种玻璃利用在普通绝缘的玻璃上涂抹约 4 微米厚的碲化镉,形成光电薄膜,实验室条件下光电转化率可达 17.8% 以上,仅需 1.92 平米的大小每年就可发电 260-270 度,若用在建筑屋顶,墙体,门窗等,那么建筑就相当于一个小型发电站,给建筑围护结构节能带来福音^[15]。

建筑围护结构节能不仅在材料类型、结构形式,还是太阳能、风能等多能互补利用方面都有卓越的成就,而在建筑施工过程中出现的能源浪费是不可小觑。目前,装配式建筑模式已逐渐在推广试用,它可以有效减少施工能耗,而组装后的建筑围护结构的气密性、冷热桥问题接踵而至,但由于此模式综合节能率较高,这种绿色、环保的建筑模式备受青睐^[16]。

1.3 暖通空调系统节能

暖通空调系统包括采暖和制冷工程,均由冷热源系统、输配系统、末端系统组成,每类系统由若干子系统组成,对于暖通空调系统节能可变影响因素多,节能工作就变得复杂。在节能设计中,三种系统需要相互融合,相互渗透,整合优化,才能使建筑低能耗、高能效运行。目前,此类节能研究内容主要是冷热源选取、输送系统的节能改造、温湿度独立控制、暖通系统中能源的再生、再利用、地道通风、耗能设备的优化运行、人员行为、自动控制优化等^[17-18]。

空调形式是决定设备系统能耗高低的根本因素。清华大学周欣等^[19]通过实际案例分析集中式和分散式空调系统对于居住建筑能耗的影响,由于居民空调负荷较为分散,空调使用时间不同步,造成分散式空调系统优势明显,而集中式空调系统运行管理方便,能耗可控性好,若能解决对负荷变化的可调性问题,那么居民建筑空调能耗就能达到高效率、低能耗的效果。

就冷热源系统而言,空气作为热源是很容易得到的,对南方住宅采用空气源热泵可实现小温差末端供暖、供冷、供热水功能。上海交通大学王如竹等提出空气源热泵在民用住宅设计中使用的可行性问题,制定空气源热泵冷热水系统一机多能的系统方案,并对高效低耗的优化系统设计提出了相应的思考^[20]。热泵热源种类还

有水、土壤等，而在传统的热泵形式上，结合太阳能的新型热泵形式应运而生，太阳能是清洁可再生能源，作为一般热泵的辅助热源，可实现热泵热源的稳定性，长期运行的经济节能性^[21]。

能源是智能建筑的“生命源泉”，建筑设备的自动化控制系统是智能建筑的“生命动脉”，建筑设备的能耗控制成为建筑节能研究的必要项目。对于建筑设备的控制主要有空调冷水机组的水温、循环水流量、温差、冷热负荷感应控制机组启用台数，泵的启停切换，新风系统控制，风机盘管内流体温度和风速监测控制，末端其他设备的监测等，从源头、输配、末端各处智能管控，能有效避免能源浪费^[22]。另一方面，据实例分析，通过确定新风和送风两个耦合参数来控制室内湿平衡，进而控制热平衡，使得温湿度独立控制系统在民用建筑中有较大的适应性和节能潜力，也给自动化多项控制技能提出新要求^[23]。结合温湿度独立控制的概念，目前利用毛细管网的空调系统来实现恒温恒湿恒氧环境的研究取得重大进步，该系统采用如蒸发冷却结合热泵形式的冷热源，以及毛细管辐射末端系统来控制温度，采用溶液除湿、蒸发冷却等形式的新风独立系统来控制湿度，最后

耦合运行达到温湿度的独立控制效果，与传统空调相比，可节能约20%-60%^[24-26]。

可再生能源的利用是节能建筑可持续生存的“呼吸器”，它的研究案例大量涌现。太阳能集热墙和集热屋顶、太阳能热水、卵石蓄热、太阳能炕、生物质能发电、燃池供暖、沼气池供燃气技术等综合利用可减少住宅能耗，这些系统在部分农村地区已有实例应用^[27]。未来，各种再生能源综合利用的耦合设计不仅可以解决建筑能耗问题，还可为社会带来良性生态循环效益。

为使节能建筑建设的可靠性、可行性增大，软件模拟成为研究的必备工具。自2010年，国家发布了建筑信息化的相关制度后，国内掀起BIM技术应用高潮，但BIM概念早在80年代就引入国内了，但很少应用到工程，而近年，又掀起第二波热潮，开始实施建筑信息模型的大量实际应用，并在2017年5月出台了《建筑信息模型施工应用标准》，于2018年1月1日起实施，可见BIM技术的发展优势愈加显赫。BIM技术可使建筑空调和采暖系统的设计、施工和运行达到最优化，提高建设效率、降低建设成本，是目

表 1 建筑节能研究内容概要

节能项目		研究内容
功能型	建筑实体	场地选址、建筑群布局和间距、建筑体型、建筑风格、建筑朝向、建筑热环境分区、阳光间设计、景观导风设计等
	围护结构	建筑材料、屋顶形式、屋顶通风、屋面绿化、屋面蓄水隔热、墙体保温（外保温、夹心保温、内保温）、墙体自蓄热、墙体绿化、门窗（框、毛条、玻璃）保温及通风采光、窗墙面积比、幕墙蓄热、地面保温、楼板保温、遮阳形式（内遮阳、外遮阳、中间遮阳）、结合太阳能、相变材料的应用等
技术型	暖通系统	冷热源类型（水、空气、土壤、太阳能、生物能等）、输配管网配置和优化（管材及连接、流动压降、输配能耗、阀件自控等）、末端输送系统、热泵技术、温湿度独立控制、余热回收利用、能源再生利用、蓄冷节能技术、自动化控制、跨临界制冷技术、太阳能烟囱发电、太阳

前及未来建设可行性节能建筑的重要模拟软件。同时,利用 BIM 数据整合管理平台开发下一代交互式建筑节能设计软件,可更便利地为节能建筑的设计提供技术支持^[28]。

建筑能耗中暖通空调能耗占到约 50%左右,但空调节能往往却达不到 50%,故而做好暖通系统的节能优化研究工作尤为重要。

通过上述内容可将民用建筑节能工作大致总结如表 1。

2 农村建筑能耗和节能研究现状

近几年我国村镇住宅建筑面积情况如图 2 所示(除北方采暖区外),我国村镇居民对住宅面积扩大的需求增强,村镇建筑面积逐年增加。而随着信息时代发展和生活水平提高,村镇建筑功能要求越来越高,家用电器种类越来越多,江亿院士也说过,“农村住宅中,生物质能源强度在持续下降,商品质能源在持续上涨”,农村建筑能耗越来越高,不容忽视。据资料显示,2005-2015 年农村建筑年均能耗约占包含公共建筑、城镇建筑、农村建筑的建筑年总能耗的 23%,图 3 所示是采用数据不完整情况下的数据处理算法统计的我国村镇建筑能耗情况(除北方采暖区外),可以看出我国农村建筑能耗逐年稳步上升,能耗量较大^[29]。

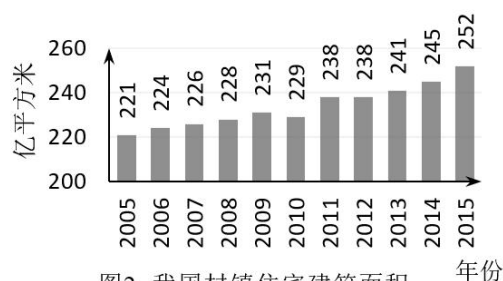


图2 我国村镇住宅建筑面积

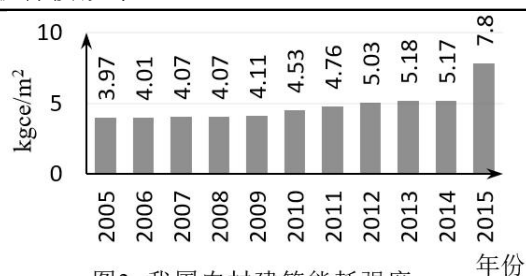


图3 我国农村建筑能耗强度

随着人们对农村住宅能耗关注度的日益增进,住建部在 2013 年 5 月 1 日发布了《农村居住建筑节能设计标准》,为改善农村建筑能耗情况,提高能源利用率提供参照。除了寒冷地区采暖能耗问题,我国夏热冬冷农村地区建筑能耗问题也备受关注,诸如何文芳^[30]《秦岭山地传统民居生态化演进研究》;杨真静^[31]《农村住宅室内热环境多目标优化设计—重庆农村自建房改造实践》;谭良斌^[32]《西部乡村生土民居再生设计研究》,朱轶韵^[33]《西北农村建筑冬季室内热环境研究》等文献都通过研究测试村镇居民室内的环境参数,结合房屋的特色构造、生态环境,提出相应节能舒适型的热环境改造措施,达到节能效果。除了理论研究,村镇建筑利用现代节能技术的应用案例也有很多,比如:

四川片区:绵阳市安县桑枣镇示范村,从村镇住宅的选址和布局、建筑体形、朝向、绿化、围护结构的保温隔热等方面入手,打造村镇生态住宅节能住宅,合理利用堂屋、庭院缓冲作用来改善室内热环境^[34];彭州市大坪村住宅采用复合夹心竹围护外墙构造做法,利用质地轻的聚苯板或挤塑板作为墙体的填充材料,保温、隔音效果良好,同时通过前后外墙分别设置低窗和高窗以高效除湿^[35];德阳市浅水湾项目将多层、小高层、高层建筑分组团穿插,由南向北逐次增高,并采用 0.27 的建筑体型系数,加之合理的建筑间距,使小区建筑具有优良的自然采光和通风条件,同时采用节

能型保温材料对地面、楼板、外墙、外窗施以保温,达到标准节能效果^[36]。

湖南片区:常德县城石公桥镇的房屋增设阳光间,利用太阳能辐射,增强采光,和保温作用,减少人工热源使用频率^[37];株洲市云田村采用两户联建来减少外墙面积,增加进深,减小建筑体形系数,同时采用活动式屋顶来改善通风,利用生物质能、太阳能供暖和热水系统,降低建筑高品位能源消耗^[38]。青海省的刚察县也使用了太阳能技术,采用了十多种组合式太阳能采暖方案,建立青海省太阳能采暖示范工程,对建筑节能起到推动作用^[39]。同时很多省市农村地区推广使用沼气燃料、秸秆、玉米杆等复合材料等,提高生物质能的利用率。

农村建筑节能工作不仅需要理论研究,更多的是需要增强村民节能环保意识,激励村民正确使用节能产品,多方位地贯彻实施节能工作。

3 展望

建筑节能研究如火如荼,但除了基础研究外,还需一些融合高科技、高技术含量的技术型研究,比如装配式建筑模块的运输问题,建筑功能智能化问题、人工智能(AI)建筑、建筑绿色包装问题等。推动互联网、大数据、人工智能进一步融合,使得建筑功能丰满的同时须结合绿色低碳的举措,将建筑节能工作作为每位公民为建设美丽中国义不容辞的担当。

参考文献

- [1] 房勤英,李媛媛,葛玉全.现代建筑节能理论研究进展[N].山东建筑大学学报,2013,28(9):358-362
- [2] 张胤鸿.外国节能措施及其对我国的启示[J].科学决策,2005,9:23-24
- [3] 清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告2017[M].北京:中国建筑工业出版社,2017
- [4] 胡一东,谭洪卫,邓丰.上海地区住宅建筑布局对室外风环境的影响分析[J].建筑热能通风空调,2017,36(1):32-37
- [5] 张海滨.寒冷地区居住建筑体型设计参数与建筑节能的定量关系研究[D].天津:天津大学,2012
- [6] 徐闯.大庆地区住宅建筑节能体型与朝向设计研究[D].黑龙江:大庆石油学院,2008
- [7] 郝汗青.重庆既有农村住宅热环境改善技术及应用研究[D].重庆:重庆大学,2016
- [8] 宋平,唐鸣放.重庆农村住宅冬季热环境与其受户门使用方式的影响[J].西部人居环境学刊,2015,30(02):54-58
- [9] 马宏权,龙惟定,朱东凌.我国建筑节能的发展思考[J].建筑热能通风空调,2009,28(2):29-32
- [10] 李海.建筑设计中的生态化模式及策略[D].陕西:西安建筑科技大学,2006
- [11] 贺瑶,丁星龙.夏热冬冷地区农村住宅传统节能技术应用研究[J].四川建材,2017,43(2):9-10
- [12] 徐伟.成都地区新农村居住建筑的节能分析与设计研究[D].四川:西南交通大学,2009
- [13] 顾天舒,谢连玉,陈革.建筑节能与墙体保温[J].工程力学,2006,23(增):167-184
- [14] 罗利江,彭力鲍,安红.适宜重庆农村建筑的复合秸秆墙砖尺寸研究[N].西南大学学报,2014,36(6):220-223
- [15] 李杏和.谢尔登·格拉肖将让中国“发电玻璃”如虎添翼[EB/OL].http://news.blhbnews.com/2018/n_0113/165974.html.2018,01,13
- [16] 薛一冰,范高上,房涛.装配式超低能耗被动房节能设计浅析[J].建筑节能,2017,45(12):24-28
- [17] 江亿.我国建筑耗能状况及有效的节能途径[J].暖通空调,2005,35(5):30-40
- [18] 伍小亭.暖通空调系统节能设计思考[J].暖通空调,2012,42(7):1-11
- [19] 周欣,燕达,邓光蔚,等.居住建筑集中与分散空调能耗对比研究[J].暖通

- 空调, 2014, 44(7): 18-25
- [20] 王如竹, 张川, 翟晓强. 关于住宅用空气源热泵空调、供暖与热水设计要素的思考[J]. 制冷技术, 2014, 34(1): 32-41
- [21] 易勇兵. 太阳能水源热泵复合系统运行特性研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2009
- [22] 翁史俊. 中央空调系统的自动控制设计和节能思路探讨[J]. 工程设计 CAD 与智能建筑, 2001, 6: 18-22
- [23] 贺建鑫, 刘凯敬, 刘拴强. 温湿度独立控制空调系统在民用建筑中的应用[J]. 制冷与空调, 2013, 13(7): 108-111
- [24] 张太康, 翁文兵, 喻晶. 毛细管空调系统节能分析与应用探讨[J]. 制冷与空调, 2009, 23(6): 63-66
- [25] 郑小丽, 黄翔, 殷清海. 基于蒸发冷却与机械制冷相结合的毛细管辐射空调系统的设计计算[J]. 制冷空调与电力机械, 2010, 31(135): 1-4
- [26] 雷会玉, 余晓明, 朱祥政等. 毛细管辐射空调系统的节能性分析[J]. 能源工程, 2014, (2): 67-71
- [27] 刘文台. 基于可再生能源利用的农村住宅 技术系统设计研究[D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2009
- [28] 赵毅立. 下一代建筑节能设计系统建模及 BIM 数据管理平台研究[D]. 北京: 清华大学, 2008
- [29] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2016[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016
- [30] 何文芳. 秦岭山地传统民居生态化演进研究[D]. 陕西: 西安建筑科技大学, 2010
- [31] 杨真静, 彭明熙. 农村住宅室内热环境多目标优化设计—重庆农村自建房改造实践[J]. 新建筑, 2016, 6: 12-17
- [32] 谭良斌. 西部乡村生土民居再生设计研究[D]. 陕西: 西安建筑科技大学, 2007
- [33] 朱轶韵, 刘加平. 西北农村建筑冬季室内热环境研究[J]. 土木工程学报, 2010, 43: 400-403
- [34] 陈国毅. 绵阳地区灾后村镇生态住宅设计研究[D]. 陕西: 西安建筑科技大学, 2009
- [35] 高源, 朱轶韵, 刘加平. 四川彭州山区农村新建民居生态再生设计研究[N]. 西安理工大学学报, 2014, 30(1): 52-57
- [36] 杨环. 建筑节能技术在建筑工程中的推广应用[D]. 四川: 西南交通大学, 2005
- [37] 王秀珍. 夏热冬冷地区村镇住宅的生态设计研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2006.
- [38] 仝杰, 谷竟成. 长株潭地区农村住宅低碳设计研究—以株洲市云田村为例[N]. 湖南工业大学学报, 2017, 31(4): 77-82
- [39] 王斌. 集热蓄热墙传热过程及优化设计研究[D]. 陕西: 西安建筑科技大学, 2012