



我国建筑节能中的若干问题分析

新疆建筑设计研究院 刘 鸣[☆]

摘要 以德国节能建筑法规和能效标识为参考,对我国现有建筑节能标准及其内容进行了分析,提出了一些需要完善和改进的意见。建筑节能必须用全年的时间段来分析,才能得出完整、正确的结论;我国建筑能耗的考核统计应全面、规范,除了应有建筑供暖空调能耗限制,也应对建筑的用电、生活热水的能耗和设备、系统效率纳入考核;我国的建筑除了应制定出基本的强制性标准外,还应制定出中、高级的不同等级的建筑节能标准;我国既有建筑的节能工作应加强建筑的气密性、热桥、自然通风与热回收等环节。

关键词 节能建筑 建筑耗热量指标 建筑气密性标准 热桥 自然通风

Some issues in building energy efficiency in China

By Liu Ming[★]

Abstract Referring to the German building energy efficiency laws and energy labelling, analyses the current Chinese standard for building energy efficiency and its content. Puts forward some ideas to perfect and improve the standard. Building energy efficiency should be analysed in view of the whole year period in order to get a complete and correct conclusion. The assessment and statistics of building energy consumption should be performed in a comprehensive and normative mode i. e. in addition to the building heating and cooling energy consumption, the electricity consumption, the energy consumption for domestic hot water supply and the system efficiency of buildings should also be assessed. Besides establishing basic mandatory standard for building energy efficiency, it is needed to lay down standards for medium to high classes with different levels of building energy efficiency in China. Such links as air tightness, thermal bridge, natural ventilation and heat recovery should be strengthened for the energy efficiency improvement in current buildings.

Keywords energy efficient building, building heat consumption index, air tightness standard for building, thermal bridge, natural ventilation

★ Xinjiang Architecture Design Institute, Urumqi, China

人们对节能 50%, 65% 这些建筑节能设计指标印象深刻,但对它们代表的实际建筑设计耗能到底是多少并不很清楚。按照不同气候区并以特定参考建筑为对象,我国建筑节能设计标准通过控制建筑围护结构的热工性能和通风换气次数,给出建筑物的耗热量指标,以此进行建筑节能的质量控制。但是,这仅仅是设计阶段的要求,建筑节能设计并不等于最终建筑节能,如果工程的设备、材料和施工质量不合格,运行管理不达标,投入使用后,建筑的实际能耗就会很大,因此相关标准中应明确建筑的实际能耗指标。我国建筑节能设计标准中,由于耗热量指标计算所规定的边界条件如标准中的建筑供暖期、室内的实际温度等与全国各地建筑的实际使用条件相差很大,所以,必须进行必要修

正;各地在制定热计量价格或进行建筑能效标识时,难以找到有效的理论值为标尺作参考。

对于既有建筑,通过建筑的楼栋热计量表读取建筑的实际供热或供冷能耗量,可以方便地判断出建筑的实际节能效果,但这一数值并没有包含热媒输送、设备能源转换的效率。欧盟国家分别给出居住建筑和非居住建筑围护结构的节能限定设计标准,是最低限定值;同时,还有建筑实际能耗的规定值,包括供暖空调、生活热水、通风系统的输送,设

①[☆] 刘鸣,男,1962 年 11 月生,大学,提高待遇高级工程师
830002 新疆乌鲁木齐市光明路 125 号
(0991) 8809063
E-mail: lium812003@yahoo. com. cn
收稿日期:2012-07-12
修回日期:2012-07-31

备能效转化的终端能源标准;建筑内全部年用电、用热、用气、用油、可再生能源按照各系统、各自效率折算出全部一次能源需求的标准。用这些不同过程和含义的建筑节能评价标准,可以很直观地了解建筑围护结构设计、施工和系统运行的质量,冷热源的运行是否先进;通过侧重于对建筑节能实际控制管理,可以使社会大众很容易参与、监督建筑节能的实际效果评定,树立起人人行为节能的意识,这也是世界发达国家广泛推广建筑能效标识的目的。

1 室内舒适性环境的全年性要求应是建筑节能设计的基本前提

随着生活水平的提高,生活在不同气候条件下的人们都希望室内冬季暖和、夏季凉爽,这是人们对生活环境的基本权利要求。这也促使我们重新审视我国现有的建筑节能规范或相关标准的出发点。

我国依据建筑所处的不同气候分区,制定了不同的建筑节能设计标准,但是,这些标准大多将关注的重点放在一年的部分时间段而不是全年,比如,在严寒和寒冷地区,特别关注冬季供暖及其节能情况,对这些地区夏季如何以经济、环保和节能方式实现室内空调降温就没有给予详细规定。在我国许多北方地区夏季本来可不用空调的,通过一些被动式建筑技术,如改善和提高建筑的保温性能,增加窗户的外遮阳和夜间自然通风等方式即可解决夏季降温问题,省去大笔的机械空调系统、配电的初投资、运行费用。同样,在南方夏热冬冷乃至夏热冬暖地区,相关标准规范也没有太多关注建筑的冬季供暖问题,对如何进一步提高建筑保温性能标准,充分利用建筑内的太阳辐射得热、人体散热、房间内用电设备得热和热回收等技术措施来满足室内温度适宜性研究得不够。

相应地,建筑节能设计不能仅对某地区建筑的冬季或夏季一个季节进行能耗模拟分析,而应进行全年的过程分析,提出全年性优化的建筑热工性能要求,这样才能满足建筑物全年室内环境要求。

2 应建立更全面的建筑节能考核标准

建筑节能的实质是要减少建筑热环境和生活在建筑内的人们生活、工作活动对一次能源的总需求量,不论在何种建筑中,建筑节能标准中除了应对建筑室内环境供暖、空调等能耗指标进行考核

外,还应应对建筑中其他能耗进行考核。建筑中的生活冷热水供应、照明、楼内交通、动力、炊具等设备都要耗能。应明确某地、某类建筑的单位建筑面积总的一次能源消耗,我国应实施建筑能效标识,建筑节能规范应对建筑的全部能耗予以控制和管理。

2.1 制定人均建筑能耗指标

人均办公面积 40 m^2 和 15 m^2 的办公楼,它们之间的能耗应如何比较?单纯比较建筑的节能,而忽视人在建筑背后所产生的关键性影响是不全面、不科学的。

在建筑节能领域,应引入人均建筑能耗的概念。生活在人均 180 m^2 以上住宅中的人或有多套住房的人,即使建筑围护结构保温再好,其最终消耗的建筑能耗也要大于人均面积不到 50 m^2 住户的能耗。所以,在我们这样一个资源越来越紧张的国家,应尽快制定出人均建筑能耗指导性指标和经济对策,要鼓励人们住高品质、舒适、大小适宜的房子。德国家庭的平均住房使用面积也仅 92 m^2 ,而不是一味追求大房子。人均建筑能耗指标是衡量每个家庭、每个人节能减排的评价指标。

2.2 建立科学的建筑能源消耗考核指标

为保证人们在建筑内正常生活和工作,必须向建筑供电、供热、供冷、供水、供气,要消耗一定能源。能源产生、输送到末端使用,存在不同的效率。应当明确给出建筑对应的不同能耗标准:1) 建筑供暖(或供冷)年能耗量,应是建筑一年有效用能或需求量,包括建筑供暖、空调、生活热水和通风系统的全部年能耗量;2) 终端能源年能耗量,是建筑供暖(或供冷、生活热水)年能耗量的上游能耗,考虑了设备能效与输配系统损耗后的能耗值;3) 一次能源年能耗,是建筑内全部用电、用热、用冷、生活热水系统的能耗值之和,依据终端能源年耗热量乘以某种供热方式性能系数(与热源设备效率互为倒数),最终能耗折合成建筑的一次能源消耗量。只有建筑的终端能源年耗热量和一次能源年耗量才是对建筑耗能的全面、实质性表述,欧盟国家常采用这两个指标表征建筑能耗标识。有了这两个指标才不会出现建筑热工性能虽好,但热媒输送和冷热源能效不好,给出的建筑节能考核结果却很好的不全面结论。

采用建筑的一次能源消耗量可计算出该建筑的 CO_2 年排放量。

为了保证终端能源年耗热量和一次能源年耗量的计算结果规范、统一,必须依据全国各气候区建立起国家统一的、不同能效等级的各类机电设备和不同系统的能效取值标准,这样得出的建筑终端能耗才不是个人随意选用计算得出的,是唯一的结果,是可以相互对比、评判的。

2.3 建筑生活热水系统的能耗

与供暖系统类似,集中供应生活热水也需要加热和输送,但其能耗与节能在建筑节能设计标准中却常常被忽略。生活热水系统能耗与热源方式选择有很大关系,不同的热水器产品都有各自的能效标识,但是,各自能效的等级含义并不相同,如:一级电热水器的能效折合成一次能源约为 15%,同级别的燃气热水器约为 65%,燃煤锅炉集中承担生活热水时其能效约为 60%。可

见电热水或电供暖能耗最高,其次是燃煤锅炉,最经济的是燃气壁挂炉。从污染物来看,也是燃气排放最少,电热水器最多。这一结果也会影响太阳能热水系统的冬季辅助热源选择,如果冬季天气长期不好,采用电供暖辅助加热时间长,耗电量会很大,太阳能生活热水系统就会出现夏季非常节能,冬季能耗太大、不经济的尴尬问题。欧洲国家大型区域集中供热系统常常同时供热、供生活热水系统用热,一并考虑设计,系统的综合能效和效益、管理都很好。

3 应当尽快提高我国的建筑节能设计标准

表 1 是中国现行的 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》和德国现行建筑节能法规商业建筑标准(附录 2 表 1)主要围护结构传热系数的对比。

表 1 中德两国标准建筑围护结构传热系数对比

	德国		中国	
	2009—2012 年的 U 值		K 值	
	室内温度≥19 ℃	室内温度<19 ℃	体形系数≤0.3	体形系数 0.3~0.4
墙体传热系数/(W/(m ² ·K))	0.28	0.35	≤0.60	≤0.50
屋顶传热系数/(W/(m ² ·K))	0.28	0.35	≤0.55	≤0.45
外窗传热系数/(W/(m ² ·K))	1.30	1.90	2.7~3.5	2.7~3.0
基础外墙、非供暖楼板和隔墙传热系数/(W/(m ² ·K))	0.35	0.35	≤1.5	≤1.5
热桥传热系数/(W/(m ² ·K))	在上述 4 项值的基础上增加		要求不结露	
	0.05	0.10		
建筑的气密性	无组织通风热损失量有限制,在 50 Pa 压差下,建筑的漏风量应小于 0.6 h ⁻¹ (换气次数)		没限制要求	
空气热回收机组效率	大量使用,效率 75%以上		使用较少,效率 60%以上	

注:德国的气候类似于我国的寒冷气候区,由于边界条件不同,德国的传热系数 U 值与我国的 K 值之间有小于 10%的偏差。

我国现行的建筑围护结构节能标准与德国相应标准相差巨大,因此建成的实际建筑能耗要比德国同类型建筑大很多。另外,由于外墙、屋顶和外窗的内表面温度形成的辐射效果不同,我国的建筑在极端天气的热舒适性也要差很多。尽管如此,欧盟国家还在进一步提高节能标准,大力推动超低能耗建筑(单位面积年能耗≤50 kW·h/(m²·a)),甚至接近零能耗的被动式建筑(建筑供暖的年能耗量≤15 kW·h/(m²·a),建筑的一次能源年耗量≤120 kW·h/(m²·a)),通过提高建筑围护结构保温性能,严格控制建筑气密性以及采用空气热回收、遮阳、自然通风、有效利用自由热等被动式建筑技术,建造出冬暖夏凉的舒适房子,最大程度地减少冬季、夏季冷热负荷及能耗,这是当今欧洲建筑节能发展的大趋势。

关于热桥,我国建筑节能设计标准要求建筑内

表面不结露,满足卫生标准即可,对热桥没有提出更高的节能要求,这极易发生问题。德国的现行标准中,墙体热桥部位传热系数 $U=0.33\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,中国的 $K=1.33\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,两国标准相差 4 倍。在我国北方,建筑的外墙角、外窗的四周边框和湿度较大的浴室、游泳馆等内表面时常出现结露,这一现象不仅给用户带来了质量问题,而且造成大量的建筑热损失,甚至房间温度难以保证。

此外,应杜绝或减少结构构件(如挑出的钢筋混凝土构件、钢构件),排水系统的通气管、雨水斗等处造成的热损失。一个铸铁透气管,在乌鲁木齐冬季热传导产生能耗 10 kW·h,相当于 2.0 kg 标准煤,改为塑料管就只有铸铁管能耗的 1.0%。在欧洲许多国家,屋顶采用外排水正是为了避免热桥的影响。

从建筑寿命周期费用的视角看,大幅提高建筑

热工保温性能,这一被动式建筑技术策略可以最大程度地抵御外界气候变化对室内环境的影响,是一次投入终生享用的技术路线,不像建筑中的供暖、空调这些主动式系统技术,在建筑使用过程中,要消耗大量长期的水、电、煤、气等资源,建筑设备与系统的运行费用、人工费用、维护费用、设备折旧费用等;用户要交大笔的供暖空调费用(考虑能源、人力成本上升的趋势,此费用会越来越高),消耗大量的能源,排放大量的 CO_2 ,加重了城市空气污染和温室效应;我国一些城市为改善城市空气质量,供热被迫放弃燃煤,改用清洁的天然气能源,进一步加大了供热的运行成本。所以,世界各国都在不同程度地提高和改进建筑围护结构的保温性能,降低建筑的能源需求,这是具有远大眼光、利国利民的可持续技术发展道路。

当然,加大建筑围护结构的投入会增加建筑工程造价,但幅度在可接受的范围内,应优化比较。笔者曾参观德国海德堡市一被动式双拼别墅,面积约 300 m^2 ,精装修房,外墙保温采用 300 mm 厚的 EPS 挤塑板,外窗传热系数仅 $0.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,有电动外遮阳窗,夏季不需要空调,冬季采用空气源热泵供热(室外机设置在车库内),冬季建筑供暖能耗仅约 $15 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (包括生活热水用能),冬季室内温度 $20 \sim 24 \text{ }^\circ\text{C}$,夏季室内温度 $24 \sim 26 \text{ }^\circ\text{C}$ 。工程造价在德国要比一般建筑高 $20\% \sim 30\%$ 。该别墅在德国房地产市场的销售价格折合人民币约 $10\,000 \text{ 元}/\text{m}^2$ 。

对不同国家的建筑供暖能耗进行比对时,必须明确不同的前提条件并加以修正,不然得出的结论就会谬以千里。德国 2009 年开始执行的建筑节能法规中,单位建筑面积供热的年能耗标准是 $77 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;其中包括生活热水的能耗,建筑面积按照建筑的地板面积计算,室内温度标准是 $20 \text{ }^\circ\text{C}$,供暖周期是全年性的。上述指标如果换算成我国的同类建筑,单位建筑面积的能耗约 $135 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,较我国现行节能标准建筑能耗大约少 50% 。

我国的建筑法规、技术标准应具有政策引导性,因经济发展不平衡,全国不应同时执行唯一同等级的建筑节能标准;在现有标准基础之上,可以有更高的建筑节能标准供业主、开发商和用户来选择;为开发商建造更高标准的节能建筑提供设计参

考依据。德国冬季类似于我国的寒冷气候区,他们的建筑节能设计标准工作规划合理,有前瞻性。德国现有 $77, 55, 40, 15 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 不同的建筑耗热量节能设计标准。差异化的建筑节能标准,更能适应社会的不同需求,促进我国建筑节能事业更快发展进步。

4 建筑的供暖能耗指标单位,理论和实际能耗的差别

建筑耗热量是衡量一段时间内建筑物的功耗,应当用功的单位来描述建筑的单位能耗指标。但是,我国现行的建筑节能设计标准能耗的单位都用 W/m^2 来表述;这一单位指标含有时间,不能准确、清晰地体现功耗的大小,只有乘以整个供暖期时间,才能得到实际的功耗指标。比如,某地供暖时间 150 d ,单位建筑面积的耗热量指标为 $18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,其单位面积的能耗应根据下式计算:

$$Q = qT \quad (1)$$

式中 Q 为单位建筑面积耗热量; q 为耗热量指标; T 为供暖时间。

将已知数代入式(1),计算得 $Q = 0.233\,3 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。由于 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ kJ}$,对应的能耗值 $Q = 64.8 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。单位 GJ 可以用于热电厂与大用户的贸易结算,但有的城市用其来制定热计量价格则不妥,普通热用户所使用的热计量设备没有量程这样大的热计量表,还要进行单位换算($1 \text{ GJ} = 277.8 \text{ kW} \cdot \text{h}$)。楼栋热表的计量单位多为 $\text{MW} \cdot \text{h}$,国际上通用的衡量建筑的耗热量指标也都是 $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 或 $\text{MW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;此单位数值与热计量表相一致,是用户应缴热费的依据。所以,应结合全国各地的供暖期和室内实际使用状况,给出各地方的单位建筑面积年供暖能耗值。

我国地域辽阔,气候差异大,不同地区的建筑围护结构设计标准不同,其建筑的年供热能耗自然不一样。JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》表 A.0.1—2 给出的建筑物耗热量指标结果存在一个问题:在同一气候区,同类建筑因室外气候有微小差别,其建筑的年供热能耗结果也不同,为什么不能调整围护结构性能,将其年供热能耗结果设成一样?即使在同一城市,不同类型的建筑,因窗墙面积比、体形系数的差异,其建筑年供热能耗结果也不一样。从影响人的热舒适环境

要素考虑,空气干球温度和辐射平均温度作用效果与作业温度(operative temperature)效果相当,同一气候区、同一等级标准的建筑应当给人们提供相同的热舒适标准,不同类型的建筑能耗指标也应该趋于一致。所以,建议将我国建筑节能设计标准按照同一类气候区的建筑能耗指标标准简单化,归并统一。它所带来的变化仅仅是各地的建筑围护结构在推荐的最低建筑节能设计标准基础上作出适当的权衡计算进行验证并作出调整。这样做好处很明显,可以避免各地的建筑节能评价只停留在设计阶段,实际节能效果难以整体评价与管理;一个气候区有一个明确统一的年能耗指标,也便于社会大众参与、监督管理,我国的建筑能效标识与考核才容易推行。

评估一栋新建筑的能耗,除了采用复杂的建筑能耗分析软件外,还应有直观简易的评定办法。一个权威、准确的计算新建筑的能耗指标的方法意味着,可以较为准确地判断一个新建建筑的能耗值,也意味着给新建建筑贴上能效标签时有所比较。在德国规定理论能耗指标是最高限定值,实际能耗值超出限值应小于10%。只有实际建筑能耗的结果才是真实的,这一结果或数值在节能标准规定值内,才是真正的节能建筑。

5 建筑的气密性及其能耗

JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》第3.0.2条中规定:冬季采暖计算换气次数应取 0.5 h^{-1} 。这条规定有两层含义:1)为了人的健康,保证室内空气品质,室内应有一定的新风换气;2)为了节能,换气的量不能太多,应控制在一定范围内。

室内外压差的作用会引起室内外自然通风换气,如通过建筑的门、窗缝隙,给排水透气管与室内洁具的连通,卫生间通气管(水封水蒸发完后),厨房排风管道;施工中,在隐蔽位置存在的孔洞、缝隙(如:风道与建筑围护结构四周间隙、通往室外通风管道的空隙、干挂装饰面与门窗交界、旋转门上空没有封堵等)都会造成大量室外冷风侵入或热气流流出,引起大量热损失;严重的还会导致水管冻坏、门厅过冷、房间过冷。如何控制管理这些不正常、长期存在的通风热损失?

我国有严格的窗户气密性检测标准,窗户是建筑的一个组成部分,控制建筑的气密性才是核

心,才能有效控制和管理建筑的漏风问题。所以,必须尽快建立我国的建筑气密性指标与漏风检测标准。

关于建筑气密性,德国的规定是在室内外压差 50 Pa 的情况下,建筑的漏风换气次数不应大于 0.6 h^{-1} 。对于漏风大的建筑和超低能耗建筑要求必须作建筑的气密性试验,检测费用大约是1万欧元/次。

随着建筑围护结构节能设计标准的提高围护结构造成的热损失会越来越小,但是,建筑室内因通风造成的热损失比例会越来越大,这一变化应得到高度重视。比如,在乌鲁木齐,居住建筑按照 0.5 h^{-1} 通风换气,造成的能耗约 $55\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,相当于居住建筑年供暖能耗的30%~45%。

以每户 100 m^2 的5层2单元 $2\,000\text{ m}^2$ 楼房为例,其换气量 $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$,在乌鲁木齐一个供暖期要多耗约 $63\,890.0\text{ kW}\cdot\text{h}$ 的热量,相当于 560 m^2 住宅的年供热能耗。因此,在严寒地区,应加大通风空调系统空气热回收技术推广力度。而在欧盟国家,新的居住建筑普遍采用热回收技术,其节能效果相当可观。

6 度日数^①的问题

影响建筑能耗计算的度日数应区分采暖期度日数(degree days of heating period)和采暖度日数(heating degree days),我国的集中供暖多采用采暖期度日数,因为只有在采暖期内室内才供暖(发热电缆、电热膜供暖,壁挂炉供暖除外)。但是在德国,包括区域集中供热,供热系统大都能保证全年随时用热,因为其供热系统既承担供热又承担生活热水用热,全年运行,夏季主要为生活热水系统供热,但遇到天气突变,供热也能满足要求。热用户用热与否由用户自己决定,最终按热计量收费,所以他们多用采暖度日数。

我国规范已提高了室内供暖的舒适标准;所以,采暖度日数的室内参考基准温度也应调整,在欧洲多用HDD20,并给出了不同基准温度对应的度日数值^①。

7 建筑物内应分区,采用不同节能标准

当前,我国的建筑能耗分析常常是将建筑作为

^① www.degreedays.net

整体来对待,没有细分建筑内不同场合、采用不同温度的差异。在同一个建筑内不同场所能耗差异很大,有的场所无法达到高标准的节能要求,如地下车库、厨房(排烟风道常开)、建材仓储等场所室内温度可以保持较低或不供暖,这时,应将此部分从高标准的节能建筑中分离出来,单独成为一体,执行不一样的标准,这并不影响节能建筑的节能效果落实。

8 结语

我国的建设速度快速增加,室内环境标准也在提高,建筑能耗会越来越多,节能将越来越重要。同时,我国的建筑形式多样,差异化很大,建筑节能的复杂性、艰巨性更大;但是,在实现真正建筑节能的过程中,必须尽快理顺问题、统一思想认识。我国现行的建筑节能控制管理方式应当多从实践出发,发现问题,研究问题,从薄弱环节出发,比如,加强对施工人员的培训,加强实际检测评价等,切实提高建筑节能性能,将建筑节能的成果落到实处。以德国为代表的接近零能耗的被动式建筑技术与标准中,与我们习以为常的供热热负荷计算方法都不完全相同,值得我们深入思考。此外,供热系统的节能技术正在发生着深刻、巨大变化,供热调控方式由从前适应室外气温变化的质调节为主正演变为以量调节为主。所以,我国的建筑节能工作只是取得了阶段性成效,今后的工作还任重道远。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院,中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [2] 中国建筑科学研究院. JGJ 26—2010 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010
- [3] 中国建筑科学研究院. JGJ 26—95 民用建筑节能设计标准 采暖居住建筑部分[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1995
- [4] 中国建筑科学研究院. JGJ 26—86 民用建筑节能设计标准 采暖居住建筑部分[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1986
- [5] 中国建筑科学研究院. GB 50411—2007 建筑节能工程施工质量验收标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2007
- [6] Federal Council of Germany. Regulation amending the German Energy Saving Ordinance[S], 2009
- [7] Ernst, Peter Nerfert. Architects data[M]. 3rd ed. School of Architecture, Oxford Brookes University, Blackwell Science,
- [8] Dr Wolfgang Feist. Passive house planning package 2007[M]. Passive House Institute, 2007
- [9] Manfred Hegger, Matthias Fuchs, et al. Energy manual sustainable architecture [M]. Switzerland: Birkhäuser Verlag AG, 2008
- [10] 住房和城乡建设部标准定额研究所. 居住建筑节能设计标准引用技术导则——严寒和寒冷、夏热冬冷地区[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010