专业论坛

我国北方地区居住建筑节能率再提高的瓶颈问题分析

大连理工大学 舒海文☆ 端木琳 季永明

摘要 对比我国北方地区不同时期的居住建筑节能标准与发达国家相关标准，发现我国建筑节能设计标准尚有待提高。以某多层住宅为例，按照我国建筑节能率的计算方法，计算出芬兰 2008 年与 2010 年节能设计标准可以达到的节能率水平；并对实现不同节能率的建筑围护结构保温方案进行了分析，找出我国北方地区居住建筑节能设计标准再提高的瓶颈问题，包括高性能围护结构保温产品匮乏、现有产品的成本过高以及新风耗热量比例过大。建议在引进和吸收国外先进产品与技术的同时，加强国内产品和施工工艺的研发，采用有组织通风换气的热回收，以及加大可再生能源在建筑供能系统中的应用比例等应对策略。探讨了我国建筑节能标准再提高的技术路线。

关键词 居住建筑 节能设计标准 节能率

Bottleneck problems in further improving energy efficiency of residential buildings in northern China

By Shu Haiwen★, Duanmu Lin and Ji Yongming

Abstract Finds that the current national design standard for energy efficiency of residential buildings in northern China should be improved by comparing the standards in different periods for northern China with those of developed countries. Taking a multi-storey residential building as an example, calculates the energy-saving rates that can be achieved based on the Finnish building design standards in 2008 and 2010 according to the calculating method of Chinese building energy-saving rate. Analyses building thermal insulation schemes to realize different energy-saving rates. Puts forward the bottleneck problems hindering improvement of the building design standard for energy-saving in northern China, such as lack of high performance insulation materials, much higher cost of current insulation products and relatively large proportion of energy consumption for heating outdoor air. Suggests strengthening the research and development of domestic products and construction techniques, adopting heat recovery techniques in organized ventilation system and increasing the proportion of renewable energy utilization in the building energy supply systems, while importing and comprehending the advanced products and technologies. Discusses possible technical routes for improving the national design standards for building energy efficiency.

Keywords residential building, design standard for energy efficiency, energy-saving rate

★ Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning Province, China

0 引言

我国建筑业的快速发展使得建筑能耗在全社会总能耗中的比例逐渐增大。在我国北方地区，建筑的供暖能耗已占到建筑总能耗的一半以上[1]，在各类建筑能耗中占有最大的比例。同时，伴随着我国经济的持续高速发展，能源紧张的矛盾也愈发突出，因此，这些年建筑节能问题一直受到各级政府及相关科技人员的高度重视，并不断推出要求越来越高的建筑节能设计标准

①☆ 舒海文，男，1973 年 3 月生，硕士，副教授
116023 大连理工大学土木工程学院暖通教研室
(0411) 84707684－807
E-mail：shwshw313@sina.com
收稿日期：2011－09－22

和规范。目前，包括辽宁省在内的我国严寒和寒冷地区的居住建筑执行的是 65% 的节能标准[2-3]，由于与我国北方地区有着相似气候条件的发达国家在建筑节能方面领先，因此，我国北方地区的建筑节能标准面临着进一步提高的挑战。按照目前我国建筑节能标准的编制思路，在进一步提高节能标准时，将会遇到哪些瓶颈问题？这些问题将如何解决？本文将在分析我国建筑节能的发展思路和比较德国、芬兰等国家建筑节能设计标准与我国节能标准差异的基础上，认清我国的建筑节能标准与发达国家的差距。然后，以大连地区某多层居住建筑为例，分别按我国目前的 65% 节能设计标准和芬兰 2008 年与 2010 年建筑节能设计标准的规定，选择建筑围护结构的保温方案，计算按芬兰标准建造的建筑可以达到的节能率水平，并对各标准下建筑围护结构的保温方案进行经济性分析，寻找按我国建筑节能标准的发展模式，进一步提高建筑节能率的主要瓶颈问题；最后，在提出应对策略的同时，对我国北方居住建筑节能率再提高的技术路线提出建议。

1 我国北方居住建筑节能设计标准与部分发达国家相应标准的对比

目前，我国北方地区居住建筑执行的是节能率 65% 的节能设计标准[2-3]。对于所设计的建筑是否达到此节能设计标准，是以规定性指标或耗热量指标为判定依据。规定性指标判断标准就是指，当所设计建筑的体形系数、窗墙面积比、围护结构的传热系数、外窗的气密性等各项指标分别符合标准中规定的具体指标值时，可直接判定设计建筑为节能建筑设计；若所设计的建筑至少有一项指标不符合前面的规定性指标时，应按标准中提供的方法对设计建筑进行耗热量计算，当供暖耗热量指标 q_H 符合标准中的规定时，则判定该建筑设计为节能建筑设计。可见标准中的核心主控指标为供暖建筑的耗热量指标，它的物理含义是：在供暖期室外平均温度条件下，为保持室内设计计算温度，单位建筑面积在单位时间内消耗的需由室内供暖设备供给的热量，单位是 W/m^2。因此，节能标准中的规定性指标判断标准也可以理解为：为达到节能建筑供暖耗热量指标的限值要求，建筑在体形系数、窗墙面积比、围护结构的传热系数等具体参数应达到的标准。

为了纵向比较从上个世纪 80 年代以来，我国北方地区居住建筑的节能设计标准在建筑耗热量指标方面的变化情况，本文以大连市 4～8 层建筑为例，将不同时期建筑标准中规定的供暖耗热量指标的限值列于表 1 中。

表 1 我国不同时期建筑节能设计标准中规定的供暖耗热量指标限值 W/m^2

1981 年通用住宅设计标准	JGJ 26—86《民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）》	JGJ 26—95《民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）》	JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》
41.2	24.7	20.6	14.3

德国、芬兰等欧洲国家在建筑节能方面一直走在世界前列，比如德国的纬度相当于我国的黑龙江省，由于它位于大西洋和东部大陆性气候之间的凉爽西风带，因此温差不算大，冬无严寒，夏无酷暑[4]，尽管如此，德国对建筑节能的要求也远比我国高，其不同时期的标准中对建筑耗热量指标的要求见表 2[5-6]。

表 2 德国不同时期建筑节能设计标准对应的供暖耗热量指标 W/m^2

DIN 4108 (1976)	保温规范 WSVO'77(1977)	保温规范 WSVO'84(1984)	保温规范 WSVO'95(1995)	节能规范 EnEV'2002(2001)	低能耗建筑 EnEV'2004(2004)
23.48	19.70	15.86	10.88	9.89	8.79

可见，德国 1984 年的标准就与我国目前的建筑节能标准所能达到的耗热量指标值接近，1995 年以后耗热量指标就超过了我国当前的节能标准。

芬兰地处北纬 60～70°之间，全国四分之一地区都在北极圈以内，即使受大西洋暖流的影响，气候仍比较寒冷，首都赫尔辛基 12 月、1 月、2 月和 3 月的平均气温为 −1.5 ℃[7]。芬兰在建筑围护结构保温方面的标准很高，比如按芬兰 2008 年和 2010 年的节能设计标准计算，可分别达到相当于我国 81% 和 85% 的节能率水平（详见 2.1 节）。我国从 1995 年颁布民用建筑节能设计标准（JGJ 26—95）以后，主要从加强建筑围护结构的保温隔热性能方面来提高建筑的节能率。下面以大连市某多层住宅为例，当其分别采用我国当前的节能设计标准、芬兰 2008 年和 2010 年节能设计标准对围护结构传热系数的限值时，计算该建筑所能实现的耗热量指标，并结合具体的围护结构保温方案，在

技术与经济方面进行分析,以期找到我国北方地区居住建筑节能率进一步提高时将会遇到的瓶颈问题,并提出应对策略。

2　我国北方居住建筑节能设计标准再提高的瓶颈

按照我国当前建筑节能设计标准的编制思路,若再提高建筑的节能标准,需要对建筑围护结构的保温隔热性能提出更高的要求,这时会遇到哪些问题呢?下面以大连市某多层住宅为例进行计算与分析。

2.1　建筑节能标准再提高的案例计算

本实例住宅共 6 层,其标准层的平面图见图 1。

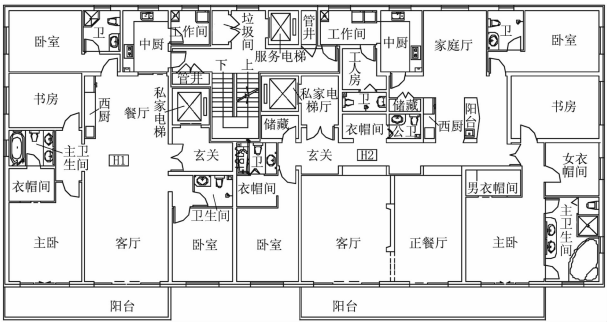

图 1　某住宅的标准层平面图

该建筑的体形系数为 0.251,各朝向的窗墙面积比见表 3,可见这些参数均能满足我国现行节能标准要求。

表 3　建筑的窗墙面积比

	朝向			
	北	东	西	南
窗户面积/m^2	120.4	87.8	43.7	307.4
窗墙面积比	0.16	0.24	0.12	0.41
我国标准规定的限值	≤0.30	≤0.35	≤0.35	≤0.50

在围护结构的热工性能选择方面,下面将分别按以下三种情形取值:我国现行的节能设计标准和芬兰 2008 年与 2010 年的节能设计标准,具体数值如表 4 所示。从表 4 可见,芬兰 2008 年和 2010 年的节能设计标准中对围护结构传热系数的限值明显比我国现行的标准低很多。根据我国节能设计标准中关于居住建筑供暖耗热量指标的计算方法,

表 4　建筑围护结构的传热系数限值

W/(m² · ℃)

	我国现行标准	芬兰 2008 年标准	芬兰 2010 年标准
外墙	0.50	0.24	0.17
屋面	0.45	0.15	0.09
窗户	2.00	1.4	1.0
门	1.50	1.4	1.0
地面	0.50	0.24	0.16

笔者对上述三种情况进行了详细计算,耗热量指标的计算结果以及它们所能达到的节能率水平见表 5。

表 5　节能计算结果

	我国现行标准	芬兰 2008 年标准	芬兰 2010 年标准
新风耗热量指标/(W/m^2)	6.36	6.36	6.36
围护结构耗热量指标/(W/m^2)	9.80	5.26	3.61
耗热量指标/(W/m^2)	12.36	7.82	6.18
节能率/%	70.0	81.0	85.0

显然,若按芬兰 2008 年和 2010 年的节能设计标准计算,该建筑可以取得更高的供暖节能率,供暖能耗会进一步降低,但提高建筑节能设计标准会遇到什么困难呢?下面将进一步分析。

2.2　建筑节能设计标准再提高的瓶颈问题分析

建筑节能设计标准再提高将会遇到以下三个方面的问题。

1)首先是关于高性能围护结构保温产品方面的问题。虽然大幅降低建筑围护结构的传热系数会降低建筑的供暖耗热量指标,从而增加建筑的供暖节能效果,但这必将对围护结构的保温提出更高的要求,以下分外墙与屋面保温材料和节能门窗两个方面来说明。

① 由于外墙与屋面主体材料的保温性能有限,要达到很低的传热系数值,必须有性能优良的保温材料。在我国目前的建筑设计施工中,大规模应用的保温材料主要有三种泡沫塑料:膨胀聚乙烯泡沫(EPS)、挤塑聚乙烯泡沫(XPS)、聚氨酯泡沫(PU)[8]。在经历了中央电视台新址大火等火灾事故后,公安部于 2009 年 9 月发布了《民用建筑外保温系统及外墙装饰防火暂行规定》,但该规定要求民用建筑外保温材料的耐火等级宜为 A 级,且不应低于 B2 级,而合格的 EPS,XPS 和 PU 保温材料能够达到 B2 级标准,故目前仍可作为外保温材料使用。表 6 给出了当外墙主体材料为 200 mm 厚的加气混凝土时,要分别达到我国现行的 65%节能标准和芬兰 2008 年与 2010 年节能标准所要求的墙体传热系数时,包括这三种泡沫塑料在内的几种常见保温材料应达到的厚度。

从表 4 和表 6 可以看到,当外墙的传热系数从 0.5 W/(m² · ℃)降到 0.24 W/(m² · ℃),即大约降低了一半,各种保温材料的厚度却增加到原来厚

表 6 保温材料厚度的计算结果

	材料的导热系数/(W/(m·K))	不同标准对应的保温材料厚度/mm		
		我国目前标准	芬兰 2008 年标准	芬兰 2010 年标准
EPS	0.046	46	145	224
XPS	0.028	28	88	136
PU	0.024	24	76	117
STP 绝热板	0.008	8	25	39
岩棉	0.050	50	158	244

度的 3 倍多,增加的速度很快。当外墙的传热系数降低至 0.17 W/(m² · ℃)(即芬兰 2010 年标准)时,EPS,XPS 和 PU 保温材料的厚度已超过目前国内施工企业可以做到的最大厚度,因此在目前的技术条件下尚无法实施。

岩棉的耐火等级能达到 A 级,保温性能也较好,在国外的建筑保温中有许多应用[9],岩棉保温层的厚度甚至可以达到近 0.5 m,但它在国内建筑保温市场中的应用却很少,其施工中的防潮等工艺措施需要进一步完善。

最近市场上出现了一种新型保温材料——STP 超薄绝热保温板,这种材料的导热系数仅为 0.008 W/(m·K),它是一种无机保温材料,防火性能很好,耐火等级达到 A 级。STP 材料的研究是从 1972 年开始的,先是主要集中在日本及欧洲国家,在冰箱、制冷行业已普遍应用,在日本,90%以上的冰箱采用了该种材料保温。目前,欧洲国家在建筑上已经开始应用,根据德国的检测结果,该产品具有 60 年的使用寿命。在国内,由山东省标准设计办公室编制的《STP 超薄绝热板外墙外保温系统》构造图集已于 2010 年 6 月 15 日起开始实施[10],同年 12 月,在华北标 BJ 系列专项图集中也推出了 10BJZ61《STP 超薄绝热板外墙外保温》构造图集。从表 6 中看到,在这些常见的保温材料中,若达到相同的保温效果,STP 绝热材料的厚度是最小的。尽管如此,经向有关厂家咨询,目前尚没有能生产 39 mm 厚 STP 绝热保温板的模具。

② 在节能门窗方面,根据表 4,当实例建筑的节能标准分别达到 65%节能率、芬兰 2008 年和 2010 年的节能标准时,外窗的传热系数要分别达到 2.0,1.4,1.0 W/(m² · ℃)。通过对国内市场的调查,可以达到传热系数为 2.0 W/(m² · ℃)的窗户种类一般是木、塑窗框的单框三玻、双框四玻和白玻+Low-e 玻璃;而目前能生产传热系数小于 1.4 W/(m² · ℃)窗户产品的厂家国内基本找不到,因此,若要满足芬兰 2008 年和 2010 年的节能标准要求,需要购买进口产品,成本将明显增大。

2) 建筑节能设计标准再提高将遇到的另一大问题就是经济问题或节能围护结构的成本增加问题。从前面的分析知道,目前在外墙保温中最常采用的几种泡沫塑料和岩棉保温产品,因施工工艺问题尚无法满足文中提到的比 65%节能率更高的芬兰节能标准的要求,因此这里以 STP 超薄绝热保温板的价格进行比较分析;在节能门窗产品的价格方面,由于要达到更高的节能标准需要采用进口产品,会使得其成本大幅增加。表 7 给出了对应实例建筑中三种节能标准需要的厚度时,STP 保温材料和节能门窗的询价情况(39 mm 厚保温产品的生产模具暂时没有,但可以根据需求制作,表中的价格是厂家给出的报价)。

表 7 保温材料和节能门窗报价

	我国现行标准	芬兰 2008 年标准	芬兰 2010 年标准
STP 保温产品厚度/mm	8	25	39
STP 保温产品报价/(元/m²)	120	145	280
窗户传热系数/(W/(m² · ℃))	2.00	1.4	1.0
窗户报价/(元/m²)	800	1 800	5 000

可见,若达到芬兰的两种节能标准,STP 保温产品的价格将分别比我国现行的 65%节能率时高 20.8%和 133.3%,而节能窗户的价格更是要高出 125%和 525%。在实例建筑中,综合考虑建筑的外围护结构后,要达到芬兰的两种节能标准时,围护结构的成本要分别增加 70.1%和 311.5%,开发商将难以承受。

3) 建筑节能标准的再提高除会遇到节能产品及其施工工艺的缺乏和相应的产品成本增加的问题外,从建筑供暖能耗的构成及其降低的角度来看也有问题。建筑供暖能耗的构成主要由建筑围护结构的耗热量和加热进入室内新风的耗热量两大部分组成。而我国的节能标准目前只是一味地通过加强围护结构的保温隔热和密闭性能来降低建筑的耗热量。由于要保证室内人员的基本卫生需求,对进入室内的新风量有最低的限值要求。目前国内的标准已经将新风量降到最低,但从表 5 可以看出,在新风耗热量不能降低的情况下,再降低围护结构部分的耗热量,使得新风耗热量在两者中的

比例不断增大,从节能率为65%时的39.4%,到节能率为81%(芬兰2008年节能标准)时的54.7%,再到节能率为85%(芬兰2010年节能标准)时的63.8%。所以,再提高建筑的节能率标准所遇到的第三个瓶颈问题就是如何设法降低室内新风部分的耗热量。

3　应对策略与提高建筑节能标准的技术路线讨论

针对上面提到的我国在建筑节能设计标准提高时将要遇到的前两个瓶颈问题,解决的办法应该是:加强具有更高保温隔热性能与防火性能的外墙保温产品及其施工工艺,以及高保温性能的节能门窗产品的研究开发,或在引进国外先进技术工艺的基础上,进一步改进并加快本土化的步伐,随着高性能产品的技术不断成熟和推广应用,产品的价格也会随之下降,从而为进一步提高建筑的节能设计标准奠定物质与技术基础。

对于建筑新风耗热量的比例不断增大的问题,由于目前节能标准中的新风量已是室内人员需求的下限,显然不能再从减少新风量的角度来解决;根据空气量的平衡原则,有新风进入室内,就有排风排到室外,而排风的温度远比室外新风的温度高,所以用排风加热新风的方法会减少建筑的供暖能耗,当然这需要安装新风换气机进行有组织的通风换气。经计算,在除去新风机的电耗后,这种热回收方式仍具有很好的降低新风耗热量的效果。因此,高效的新风换气机的使用也是进一步降低建筑供暖能耗的有效应对措施。

另外,对于我国目前居住建筑的节能设计标准再提高的技术路线问题,笔者认为除继续强调建筑围护结构的保温隔热性能外,还应增加新风热回收与可再生能源利用方面的要求。随着国家对可再生能源利用技术研究投入的增大,国内许多科研机构也加强了这方面技术的研发工作,包括太阳能热利用在内的许多可再生能源利用技术也逐渐走向成熟,这些都为充分利用可再生能源,进一步提高建筑节能设计标准,大幅降低我国北方建筑供暖对于传统矿物能源的依赖提供了契机。

4　结语

本文结合我国北方多层居住建筑实例,按我国建筑节能率的计算方法,得到芬兰2008年与2010年节能设计标准相当于我国81%和85%的节能率水平;对能够达到我国现行节能标准和芬兰2008年与2010年节能标准的建筑围护结构保温方案进行了计算分析,找出了我国北方地区居住建筑节能设计标准再提高的瓶颈问题,即节能门窗和外墙保温材料及其施工工艺的缺乏、节能围护结构成本的大幅增加及新风耗热量比例增大的问题。在给出应对策略的同时,还提出了在未来的建筑节能设计标准中除继续强化建筑围护结构的保温隔热性能外,还应增加高效新风热回收与可再生能源利用方面的相关要求,为我国更高节能设计标准的制定提供参考。

参考文献:

[1] 江亿. 我国供热节能中的问题和解决途径[J]. 暖通空调, 2006,36(3):37-41

[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] 辽宁省建设科学研究院. DB21/T 1476—2006/J 10922—2007　居住建筑节能设计标准[S]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2007

[4] 中国互联网新闻中心. 德国历史地理气候常识[EB/OL]. [2011-09-20]. http://www.china.com.cn/chinese/zhuanti/ozlyzx/525060.htm

[5] 陈滨,朱佳音. 中国寒冷地区被动式房屋模式初探[J]. 建筑科学,2011,27(6):6-10

[6] Marlon L, Wolfqang M, Fish M N, et al. The evolution of energy efficiency policy in Germany and the EnEV 2007[C]//25th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Dublin, 2008

[7] 博雅旅游网. 芬兰地理:芬兰地理环境与气候全介[EB/OL]. [2011-09-21]. http://eur.bytravel.cn/art/fld/fldlfldlhjyqhqj/

[8] 李宏君,杨宗焜,杨玉楠,等. 节能建筑的防火安全问题[J]. 节能技术, 2011,29(3):285-288

[9] Rasmussen T V, Nicolajsen A. Assessment of the performance of organic and mineral-based insulation products used in exterior walls and attics in dwellings[J]. Building and Environment, 2007, 42: 829-839

[10] 山东省标准设计办公室. L10JT26 STP超薄绝热板外墙外保温系统[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010