

陕西省居住建筑节能设计标准提升研究

畅 明^{1,2}, 赵敬源¹

(1. 长安大学 建筑学院, 陕西 西安 710064; 2. 运城职业技术学院, 山西 运城 044000)

摘要: 当前, 我国已基本完成当初设定的居住建筑节能三步走的历史任务, 接着居住建筑节能标准提升目标该如何设定, 是摆在每一个节能管理和研究人员面前的问题. 本研究提出以 DeST-H 软件模拟为基础获得建筑节能提升的技术方案, 利用边际收益率作为经济评价指标优选建筑节能方案, 计算出相应的建筑节能提升率, 初步设置提升梯度. 依据技术经济评价结果和当地的节能发展状况制定节能设计标准提升调查表, 进行德尔菲问卷调查. 利用算术平均值(M)和变异系数(V)对调查问卷结果进行指标评价, 当 $2.5 \leq M \leq 3.5$ 且 $V < 0.2$ 时, 该项建筑节能设计标准的提升梯度和时间节点被选用, 否则, 重新设定提升梯度和时间节点进入下一轮问卷调查, 直至满足要求. 最后, 利用该研究方法, 提出了陕西省居住建筑节能设计标准的提升方案.

关键词: 居住建筑; 节能设计标准; DeST-H; 边际收益率; 德尔菲法

中图分类号: TU202

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2018)05-0696-08

Research on the improvement of design standard for energy efficiency of residential buildings in Shaanxi

CHANG Ming^{1,2}, ZHAO Jingyuan¹

(1. College of Architecture, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Yuncheng Polytechnic College, Yuncheng 044000, China)

Abstract: At present, China has basically completed the original set of residential building energy-saving three-step historical task. But how to set the gradient and the time node of design standard for energy efficiency of residential buildings, is the problem placed in front of every energy-saving management and researcher. The paper proposes a technical scheme to obtain the improvement of building energy efficiency based on DeST-H software simulation. The marginal rate of return is used as the economic evaluation index to optimize the optimal building energy saving scheme combination, for calculating the corresponding building energy saving rate, and setting the lifting gradient. Based on the results of technical and economic evaluation and the development of local energy-saving, the questionnaire of the improvement of design standard for energy efficiency of residential buildings is enhanced for Delphi survey. The average gradient (M) and the coefficient of variation (V) are used to evaluate the results of the questionnaire. When $2.5 \leq M \leq 3.5$ and $V < 0.2$, the lifting gradient and time node of design standard for energy efficiency of residential buildings are selected. Otherwise, the lifting gradient and time nodes are reset into the next round of the survey until the requirements are met. Finally, using the research method of this paper, the scheme of design standard for energy efficiency of residential buildings in Shaanxi province is put forward.

Key words: residential buildings, design standard for energy efficiency, dest-h, marginal profitability rate, delphi method

中国是能源消耗大国, 节约能源、保护环境是我国的基本国策. 《国家应对气候变化规划》提出单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45%. 《能源发展战略行动计划(2014~

2020 年)》也明确提出到 2020 年一次能源消费总量控制在 48 亿 t 标煤左右. 从 1980~2012 年, 中国终端能耗年均增长率达 5.8%^[1], 建筑能耗占终端能耗的比例从 10%^[2]增长到了 20.0%^[3], 到 2030

收稿日期: 2017-07-24

修改稿日期: 2018-08-30

基金项目: 国家重点研发计划子课题(2016YFC0700401); 国家自然科学基金项目(51678058)

第一作者: 畅 明(1983—), 男, 博士生, 研究方向为城乡人居环境建设工程. E-mail: 673486855@qq.com

通讯作者: 赵敬源(1972—), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向为建筑节能与城市环境研究. E-mail: zjyqtt@163.com

年占比将达到 23.1%^[4],进一步表明提高我国建筑节能水平的必要性和紧迫性。

我国居住建筑从上世纪 80 年代开始推行节能工作,制定了《建筑节能“九五”计划和 2010 年规划》,提出了建筑节能分三步走的奋斗目标。在“十二五”规划的最后一年,我国已基本完成了当初设定的节能三步走的历史任务。接着居住建筑节能标准提升方案该如何设定,这是摆在每一个节能管理和节能研究人员面前的问题,是决定着“十三五”期间甚至更长一段时间内我国建筑节能工作的战略问题。

住房和城乡建设部科技与产业化发展中心的彭梦月认为:我国建筑节能标准规划和预期的目标是超低能耗建筑标准的建立。中国建筑科学研究院的邹瑜、郎四维等人等提出中国应当借鉴先进国家建筑节能工作的发展路线图,并对我国建筑节能标准化工作进行了展望,但并未进行深入的量化研究。西安建筑科技大学的董玥提出西安地区具备围护结构各项指标提升 30% 的条件,并且仅通过提升保温材料的厚度即可达到节能要求,并未对西安市节能标准提升目标节点进行研究^[5-11]。中国建筑节能协会武勇、北京交通大学侯静、天津大学的李轶楠等^[12-13]通过较大规模的机构问卷调查和较大范围的德尔菲专家问卷,定性的研究了中国建筑能效提升体系,并未通过定量的方式对其进行技术经济性评价。

建筑节能设计标准提升是一个社会问题,但也是一个技术和经济问题。本文以技术分析和经济评价为基础初步设置居住建筑节能设计标准提升梯度,接着利用“德尔菲法”验证并形成居住建筑节能设计标准提升方案。

1 研究方法

新建居住建筑节能提升路线图是一个复杂的系统工程,不仅是出台一套规范,还与当地的节能发展水平、节能技术、经济状况、政策支持以及民众的节能环保意识等因素相关,科学合理的制定是顺利实现的基础。

建筑节能设计标准的提升,首先是一个技术问题。建筑节能设计应与地区气候相适宜。我国幅员辽阔,南北气候差异大,依据建筑热工设计分区可将我国分为严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区和温和地区^[14]。在不同建

筑热工分区里,建筑能耗需求类型不同,比如:在严寒寒冷地区,其能耗主要是冬季采暖;在夏热冬冷地区,其能耗主要在夏季空调制冷,同时还要兼顾冬季采暖;在夏热冬暖地区,则无需考虑冬季采暖,主要在夏季空调制冷。因此,在不同的建筑热工分区,建筑节能设计应以当地气候条件为基础,标准的制定应因地制宜。

标准的提升也是一个经济问题。我国的建筑节能设计标准虽然是强制性规范,但若使其能够顺利执行,在制定时应当考虑经济状况,提升的成本应在居民承担的范围之内。

同时,建筑节能设计标准的提升也是一个社会问题。标准的提升应与本地的节能发展相适应,与国家能源发展和节能减排等政策相匹配。因此,在制定总体目标时,应当以国家能源发展规划为依据。

1.1 总体目标设定

在设定中长期目标时,通常做法是基于现状,利用趋势外推和情景分析法,经多方论证最终确定目标。但趋势外推法是以线性思维为主,基于过去而对未来进行的预测,不一定适用于转型期的建筑行业。因此,寻求新的思路和方法,提出依据国家对碳减排目标设定的总体要求,充分考虑资源环境、功能需求和其它国家的节能目标,来设定建筑节能的总目标。

国外建筑节能方面,供暖空调能耗达到近零能耗是欧盟与美国等发达国家的发展方向,欧盟建筑能效指令(Energy Performance of Buildings Directive, EPBD)2010 规定,成员国应从 2020 年以后,所有的新建建筑都是近零能耗;2018 年以后,政府所使用或拥有的新建建筑均为近零能耗建筑。丹麦、英国、德国、法国等欧盟主要成员国在欧盟建筑能效指令的框架下,以到 2020 年实现近零能耗为最终目标,结合各国的情况,分别制定了阶段性的建筑能效提升目标。

基于我国到 2030 年能源消耗达到峰值的总体要求,结合欧盟、美国等国家的建筑能效目标,初步将供暖空调近零能耗设定为 2030 年我国建筑节能提升的总目标,加之中德合作的被动房示范项目已实现单位建筑面积供暖空调近零能耗,并且我国 2015 年住房和城乡建设部出台了被动式超低能耗绿色建筑技术导则(试行)(居住建筑)。故而,在总体目标参数的设定中进一步明确建筑单位面积供暖空调近零能耗的值(如表 1)。

表1 近零能耗建筑能耗指标

Tab. 1 Energy consumption index for near-zero energy buildings

气候分区		严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
能耗	年供暖需求 kWh/m ² · a	≤18	≤15	≤5	≤5	≤5
指标	年供冷需求 kWh/m ² · a	≤3.5 + 2.0 × WDH ₂₀ ^② + 2.2 × DDH ₂₈ ^③				

注：①表中 m² 为套内使用面积，套内使用面积应包括卧室、起居室(厅)、餐厅、厨房、卫生间、过厅、过道、储藏间、橱柜灯使用面积的总和；

②WDH₂₀ (Wet-bulb degree hours 20) 为一年中室外湿球温度高于 20℃ 时刻的湿球温度与 20℃ 差值的累计值(单位：kKh)；

③DDH₂₈ (Dry-bulb degree hours 28) 为一年中室外干球温度高于 28℃ 时刻的干球温度与 28℃ 差值的累计值(单位：kKh)。

1.2 利用技术经济评价初步设定提升梯度

我国现使用的居住建筑节能设计标准包括四个区划^[14]三个标准：分别为《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》^[15]、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》^[16]、《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》^[17]。在这三个标准中，只有严寒和寒冷地区标准中有集中采暖的需求，而严寒和寒冷地区标准自 1986 年相对节能率 30% 到 2010 年的 65%，基本都是由建筑、围护结构的热工设计和采暖、通风、空调系统的节能设计两部分共同承担。住房和城乡建设部在 2010 出台的《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》中规定室外管网的效率按 0.92 计算，燃油、燃气锅炉的效率已达 88% 左右^[15]，相比起围护结构热工性能的提高，短时间内要进一步提升已不经济，因此本研究考虑的建筑节能标准的提升主要集中在围护结构的热工性能上。

(1) 建筑节能技术分析

由于我国地域辽阔，气候差异大，建筑节能技术应当因地制宜。在严寒和寒冷地区建筑热工设计时，主要考虑冬季保温，与其相关的参数有：外墙和屋顶传热系数、门窗类型、换气量和换气方式。在夏热冬冷地区建筑热工设计时，既要考虑夏季防热，也应适当兼顾冬季保温，与其相关的参数有：外墙和屋顶传热系数、外墙和屋顶热惰性指标、门窗传热系数、外窗的综合遮阳系数、换气量和换气方式。在夏热冬暖地区建筑热工设计时，主要考虑夏季防热，与其相关的参数有：外墙和屋顶的传热系数、外墙和屋顶的热惰性指标、外窗平均传热系数和平均遮阳系数、换气量和换气方式。

在各个热工分区中，通过不同的建筑热工参数组合可获得相应的建筑节能技术方案。本文依据现行居住建筑节能设计标准创建数字模型，借助 DeST-H 软件，获得不同建筑节能技术方案对应的节能量。

(2) 建筑节能技术方案的经济评价

通过以上的建筑节能技术分析，可获得建筑节能技术方案和相对节能量，但并不能以此判断哪一种节能技术方案更优，在此引入经济评价方法——边际收益率。边际收益率是指每增加一单位的资本投资，预期将来可获得的收益，在这里用其来评价建筑节能方案的经济合理性。当建筑节能标准提高时，在现有的技术条件下，建设成本将会增加，当然也会获得未来的收益即建筑采暖空调负荷的降低，计算公式为：边际收益率 = $\frac{\text{单位面积采暖空调负荷年降低量}}{\text{单位面积成本增加额}}$ 。在这里用年负荷降低量而没有用整个生命周期内负荷降低量，是因为边际收益率只是作为一个无量纲比值进行建筑节能方案比选。在具体的方案比选中，边际收益率越大，说明该方案的经济性越好，应当得到优先选用。

通过技术经济分析，获得最佳的建筑节能方案组合，以此为基础初步形成居住建筑节能设计标准的提升梯度。

1.3 利用“德尔菲法”验证并形成“新建居住建筑节能设计标准提升方案”

由于建筑节能设计标准的提升是一项复杂的系统工程，仅通过技术经济评价就确定提升方案，并不能反映真实情况，还应征集专家和利益相关各方的意见。为使建筑节能标准的提升合理、科学，本研究利用德尔菲调查法验证并最终形成居住建筑节能设计标准的提升梯度和时间节点。

(1) 调查问卷的设置

在调查问卷中初步设置建筑节能的提升梯度和时间节点(如表 2)，并使专家对其可实现度进行打分(1~5)，具体为：①不可能实现、②比较难实现、③通过努力可以实现、④比较容易实现、⑤很容易实现。当专家的打分低于 3 分时，需简要说明理由并进行参数修正，为下一轮的调查问卷做准备。

(2)时间节点的设置

关于时间节点的划分, 主要分为三个节点, 分别为: 2020 年、2025 年、2030 年. 这样正好与我国国民经济和社会发展规划相重合, 因为我国的五年规划是国家对重大建设项目、生产力分布和国民经济重要比例关系等作出的规划, 为国民经济发展远景规划目标和方向, 这样在制定建筑节能提升路线图时可以参考国家的发展规划, 及时对所制定的节能提升做出调整.

表 2 问卷调查表
Tab. 2 Questionnaire

时间 节点	目标设定
2020	部分建筑开始执行 75% 的节能标准
2025	全面开始执行 75% 的节能标准 部分建筑开始执行近零能耗标准
2030	全面执行近零能耗标准

(3)调查对象

为使调查结果科学合理, 调查对象应为不同的利益相关方, 包括: 政府主管部门、设计院与科研院所、房地产开发商、行业协会、建材企业、施工企业等, 并且参与问卷调研的人员应具备一定的建筑节能知识.

(4)调研数据的处理方法

通过对各个实现度得分的算术平均值(M)进行比较, 得分越高, 则认为该提升梯度越容易实现. 为防止数据异常, 又加入变异系数. 变异系数是表示数据离散程度的指标, 其值越小, 说明专家意见的协调程度越高, 收敛性越好, 其计算公式为^[18]

$$V = \frac{\sigma}{M}$$

式中: V 为指标的变异系数; M 为指标全部评价的算术平均值; σ 为全部专家对指标评价的标准差.

按照平均值($2.5 \leq M \leq 3.5$)并且变异系数($V \leq 0.2$)进行指标选取. 将平均值设定在 2.5 和 3.5 之间, 主要考虑到当平均值过高时, 说明专家认为节能设计标准提升目标实现起来过于容易; 当平均值过低时, 说明专家认为节能设计标准提升目标实现起来过于困难, 都不符合进行调查问卷的目标. 另外设定变异系数范围, 主要是观察专家意见的统一度, 若变异系数太大, 说明专家意见分歧较大, 应当进行原因分析, 再进一步进行论证. 通过结果分析, 若指标不满足, 则将该项

提升梯度重新进行设定进入下一轮调查问卷直至满足要求.

当前, 我国居住建筑节能设计标准稳步提高, 城镇新建建筑执行节能强制性标准比例达到了 100%, 节能建筑占城镇民用建筑面积比重超过 40%. 北京、天津、河北、山东、新疆等地开始在城镇新建居住建筑中实施节能 75% 强制性标准, 严寒寒冷的其它地区现阶段依旧执行的是 65% 的节能标准, 在夏热冬冷和夏热冬暖地区执行的是 50% 的节能标准. 本文以陕西省为例进行建筑节能设计标准提升研究.

2 陕西省居住建筑节能设计标准提升研究

陕西省地理位置介于东经 $105^{\circ}29' \sim 111^{\circ}15'$, 北纬 $31^{\circ}42' \sim 39^{\circ}35'$ 之间, 全省总面积 20.58 万 km^2 , 自然区划上因秦岭-淮河一线而横跨北方与南方, 包括寒冷和夏热冬冷两个建筑热工分区. 2016 年, 经济总量全国排名第 15, 基本能代表我国经济发展的平均水平, 因此此次选择陕西省作为研究对象.

依据建筑热工分区, 陕西省包括寒冷和夏热冬冷两类地区, 同时又将寒冷地区分为西安地区和其它寒冷地区. 把西安单列出来, 主要出于以下几点考虑: (1)西安地区本身在节能设计标准方面就走的较快, 65% 的节能设计标准早在 2007 年就开始执行; (2)西安地区的经济较发达, 房价相对其它地区较高, 由于节能设计标准提高而造成的成本上升占房价的比例相对较小, 居民更容易接受; (3)希望把西安打造成陕西的领头羊, 具有一定的示范带头作用.

2.1 西安地区居住建筑节能设计标准提升方案

(1)技术经济分析

以陕西省《居住建筑节能设计标准》DBJ61-65-2011 建立原始模型, 利用 DeST 软件模拟不同的外墙和屋顶传热系数、窗户类型和换气次数, 获得了不同节能方案的相对节能量. 通过市场调查可获得每种方案的造价增加额, 以此来计算其边际收益率, 具体如图 1—图 4.

图 1、图 2 为西安地区六层居住建筑墙体和屋顶的不同保温层厚度相对于原始模型的边际收益率. 从图中可以看出随着保温层厚度的增加其边际收益率在逐渐减小. 图 3 为西安市六层居住建筑不同门窗类型的边际收益率, 真空 + low-e 膜玻璃的边际收益率最高, 效果最好. 图 4 为不同的换气次数对采暖需求的影响, 室内换气对采暖需求影

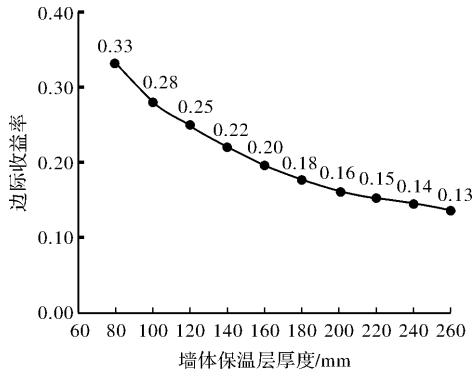


图 1 墙体不同保温层厚度的边际收益率

Fig. 1 Marginal profitability rate of thickness of different insulation layer of wall

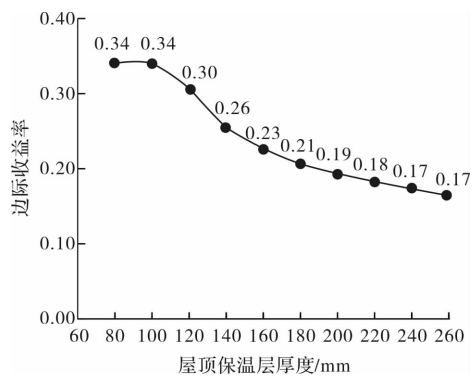


图 2 屋顶不同保温层厚度的边际收益率

Fig. 2 The marginal profitability rate of different insulation layers of the roof

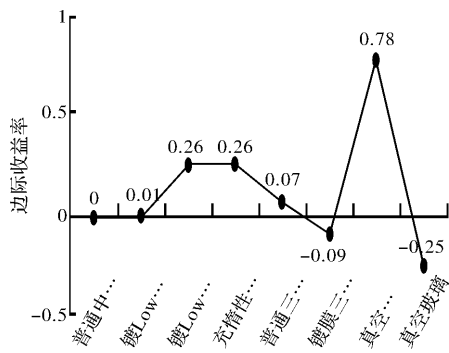


图 3 不同门窗的边际收益率

Fig. 3 The marginal profitability rate of doors and windows

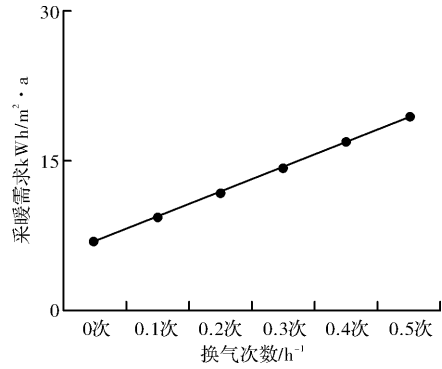


图 4 换气次数对采暖需求的影响

Fig. 4 Influence of the number of ventilation on heating energy consumption

响较大,应当提升整个房屋的气密性和增加全热新风交换系统.通过市场调查^[19-21],全屋隔气加全热交换新风系统的成本为130元/m²,边际收益率为0.10.

在选择最佳方案时,将总边际收益率≥0.2的技术方案作为第一阶段优先提升对象,具体包括:将墙体的保温层厚度提升到160mm;屋顶的保温层厚度提升到180mm;透明围护结构变成真空+low-e膜玻璃.通过计算,在西安地区其相对节能率最高可达78%,成本增加额在38.3元/m²,占建安成本的2%左右.第二阶段提升的技术方案为:将墙体和屋顶保温层厚度提升到260mm;提高全屋气密性和增加全热交换新风系统.通过该方案可将采暖需求降低到15kWh/m²·a以下,基本达到前文设定的总体目标.

利用以上方法,对西安地区11层、28层居住建筑也进行了分析,具体见表3.因此,初步可将西安地区建筑节能设计标准的提升梯度分为两个阶段,第一阶段通过提高墙体、屋顶和窗户的热工性能,相对节能率可达78%,成本增加额在38.3~48.7元/m²,占建安成本的1%~3%;第二阶段继续提高围护结构的热工性能、气密性和增加全热交换新风系统,达到近零能耗标准.

表 3 居住建筑最优组合模拟结果

Tab. 3 Simulation results of optimal combination of residential buildings

指标	保温层厚度/mm		窗户	采暖需求 kWh/m ² ·a	采暖需求 (当前标准) kWh/m ² ·a	相对节 能率/%	成本增加 额元/m ²
	墙体	屋顶					
6层居建	160	180	真空+Low-e膜	18.3	28.9	78	38.3
西安 11层居建	200	200	真空+Low-e膜	14.8	23.6	78	44.4
28层居建	200	180	真空+Low-e膜	10.7	18.9	80	48.7

(2)专家问卷调查结果分析

专家问卷调查的主体单位为建筑节能各利益

相关方,包括政府部门、设计院与科研院所、高校、行业协会和其它相关机构(见图5).调查共发

出问卷 105 分, 回收有效问卷 75 份, 问卷回收率为 71.4%。样本具有一定的代表性, 参与问卷调查的人员分布合理, 涵盖建筑节能的相关专家, 来自 8 个领域, 建筑学和暖通专业的专家数占比超 50%, 具有中级以上职称的专家占比 77%, 从业 5 年以上的专家占比 80%(具体见图 6)。从专家分布情况来看, 调研结果可代表各相关利益主体的观点。

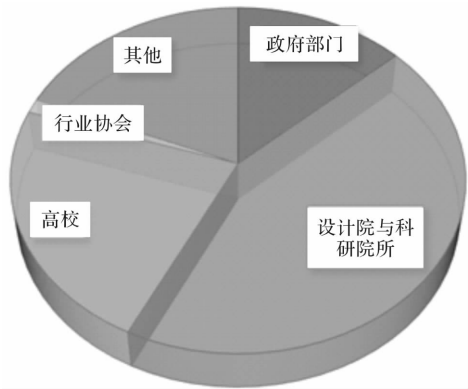


图 5 调查人员单位分布
Fig. 5 Institutional distribution

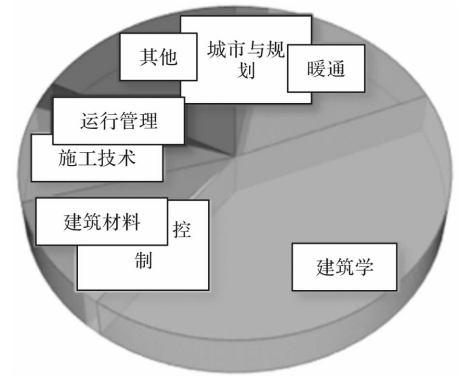


图 6 调查人员职业分布
Fig. 6 Occupational distribution

表 4 为西安地区居住建筑节能设计标准提升可实现度调查结果, 可以看出: 到 2020 年全面执行 75% 的节能标准、部分建筑开始执行近零能耗标准的可实现度在 2.5~3.5 之间, 变异系数 ≤ 0.2 , 说明专家认为到 2020 年这两个目标是可以实现; 到 2025 年全面开始执行近零能耗标准不符合评价指标要求, 其变异系数大于 0.2, 针对这一问题专门召开了专家座谈会, 并且总结了问卷调查所反馈的意见, 主要原因是现阶段未有近零能耗建筑节能标准和明确的技术、政策等支撑体系。因此, 在制定第二轮问卷调查时, 增加了近零能耗建筑国内外的发展现状, 主要技术特征以及实现难点等内容, 获得了新一轮的问卷调查结果, 到 2020 年部分建筑开始执行近零能耗标准的可实现度提

高到了 3.5, 变异系数降低到了 0.14; 到 2025 年全面开始执行近零能耗标准的可实现度提高到了 3.3, 变异系数降低到了 0.17(具体见表 5)。最终确定到 2025 年西安市全面执行近零能耗标准是可行的。

表 4 西安地区居建节能设计标准的可实现度调查结果
Tab. 4 Achievability survey of design standard for energy efficiency of residential buildings in Xi'an Region

时间 节点	目标 设定	可实 现度	变异 系数
2020	全面开始执行 75% 节能标准	3.5	0.16
	部分建筑开始执行近零能耗标准	3.4	0.19
2025	全面开始执行近零能耗标准	3.1	0.23
2030	—	—	—

表 5 第二轮问卷调查结果
Tab. 5 Results of the second round of questionnaires

时间 节点	目标 设定	可实 现度	变异 系数
2020	部分建筑开始执行近零能耗标准	3.5	0.14
2025	全面开始执行近零能耗标准	3.3	0.17
2030	—	—	—

(3) 西安地区居住建筑节能设计标准提升方案

依据以上分析, 可将西安地区居住建筑节能设计标准的提升分为两个阶段: 第一阶段, 到 2020 年, 全面执行 75% 的节能标准, 部分建筑开始执行近零能耗标准; 第二阶段, 到 2025 年全面开始执行近零能耗标准。

2.2 陕西省其它寒冷地区和夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准提升方案

利用上述的分析方法, 可得陕西省其他寒冷地区和夏热冬冷地区居住建筑的节能设计标准提升方案, 表 6、表 7 为陕西省其他地区节能设计标准可实现度的调查结果。

表 6 陕西省其它寒冷地区可实现度调查结果

Tab. 6 Achievability survey of other cold zone in Shaanxi Province

时间 节点	目标 设定	可实 现度	变异 系数
2020	部分建筑执行 75% 节能标准	3.5	0.12
2025	全面执行 75% 的节能标准	3.4	0.08
	部分建筑开始执行近零能耗标准	3.1	0.15
2030	全面开始执行近零能耗标准	3.0	0.18

表7 陕西省夏热冬冷地区可实现度调查结果

Tab. 7 Achievability survey of hot summer and cold winter zones in Shaanxi Province

时间 节点	目标 设定	可实 现度	变异 系数
2020	部分建筑执行 65% 节能标准	3.2	0.06
2025	全面开始执行 65% 节能标准	3.5	0.16
	部分建筑开始执行 75% 节能标准	3.0	0.12
2030	全面开始执行 75% 节能标准	3.0	0.14
	部分建筑执行近零能耗标准	2.9	0.19

陕西省其它寒冷地区居住建筑节能设计标准的提升方案可分为三个阶段：第一阶段：到 2020 年，部分建筑开始执行 75% 的节能标准；第二阶段：到 2025 年，应全面执行 75% 的节能标准，部分建筑开始执行近零能耗建筑标准；第三阶段：到 2030 年全面开始执行近零能耗标准。

陕西省夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准的提升方案可分为三个阶段：第一阶段，到 2020 年，部分建筑开始执行 65% 的节能标准；第二阶段，到 2025 年，开始全面执行 65% 的节能标准，部分建筑开始执行 75% 的节能标准；第三阶段，到 2030 年，全面执行 75% 的节能标准，部分建筑开始执行近零能耗建筑标准。

3 结论

(1)通过以上分析，进一步验证了建筑节能设计标准的提升是一个技术问题，也是一个经济和社会问题。本研究提出依据国家对碳减排目标设定的总体要求，充分考虑资源环境的约束条件和居民对建筑功能的需求以及其它国家的节能目标作为参照，来设定建筑节能设计标准提升的总目标，即到 2030 年达到近零能耗标准。并且以 DeST-H 软件模拟为基础获得建筑节能提升的技术方案，利用边际收益率作为经济评价指标优选最佳建筑节能方案组合，计算出相应的建筑节能提升率，初步设置提升梯度。

(2)以技术经济分析获得提升梯度为基础，依据当地的节能和经济等发展状况制定节能设计标准提升调查表进行德尔菲问卷调查。利用算术平均值(M)和变异系数(V)作为评价指标，当 $2.5 \leq M \leq 3.5$ 且 $V < 0.2$ 时，该项建筑节能设计标准的提升梯度和时间节点被选用，否则，重新设定提升梯度和时间节点进入下一轮问卷调查，直至满足要求。

(3)通过技术经济分析和问卷调查，将西安地区居住建筑节能设计标准提升方案分为两个阶段，第一阶段到 2020 年全面执行 75% 的节能设计标准；第二阶段到 2025 年全面执行近零能耗设计标准。利用相同方法，提出了陕西省其它寒冷地区(除西安地区)和夏热冬冷地区建筑节能设计标准的提升方案。

参考文献 References

- [1] 国家统计局. 中国能源统计年鉴:1980-2012[M]. 北京:中国统计出版社,2012.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical yearbook: 1980-2012 [M]. Beijing: China Energy Statistics Press,2012.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,1980.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical yearbook[M]. Beijing: China statistics Press,1980.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2012.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical yearbook[M]. Beijing: China statistics Press, 2012.
- [4] 武勇,侯静,徐可西,等. 中国建筑能效提升体系的研究[J]. 建筑科学. 2015,31(4):1-14.
WU Yong, HOU Jing, XU Kexi, et al. Study on improvement system of building energy efficiency of China[J]. Building Science. 2015,31(4):1-14.
- [5] 彭梦月. 欧洲超低能耗建筑和被动房标准体系[J]. 建设科技. 2014,21(12):43-47.
PENG Mengyue. European standard system for ultra low energy consumption buildings and passive houses [J]. Construction Science and Technology. 2014, 21 (12):43-47.
- [6] 刘刚,彭琛,刘俊跃. 国外建筑节能标准发展历程及趋势研究[J]. 建设科技. 2015,14(2):16-20.
LIU Gang, PENG Chen, LIU Junyue. Development history and trend of building energy efficiency standards abroad[J]. Construction Science and Technology. 2015,14(2):16-20.
- [7] 李二晓. 陕西省建筑能效提升体系研究[D]. 西安:长安大学,2017.
LI Erxiao. Study on the improvement system of building energy efficiency of Shannxi province [D]. Xi'an: Chang'an University, 2017.
- [8] 邹瑜,郎四维,徐伟,等. 中国建筑节能标准发展历程及展望[J]. 建筑科学. 2016,32(16):1-5.
ZOU Yu, LANG Siwei, XU Wei, et al. Development and prospects for China's building energy efficiency standards[J]. Building Science. 2016,32(16):1-5.
- [9] 董玥,阎增峰. 西安市公共建筑非透明围护结构节能

- 限值研究[J]. 建筑与文化. 2018(8): 57-58.
- DONG Yue, YAN Zengfeng. Study on the energy-saving limit value of the non-transparent[J]. Architecture & Culture, 2018(8): 57-58.
- [10] 王昭,李震,时敬磊,等. 山东省居住建筑节能75%设计标准和德国建筑节能标准对比分析[J]. 建筑节能, 2016,44(307):98-100.
- WANG Zhao, LI Zhen, SHI Jinglei, et al. Comparative analysis between design standard for energy efficiency of residential buildings in Shandong (75% energy-saving rate) and building energy efficiency standards in German[J]. Building Energy Efficiency. 2016, 44(307):98-100.
- [11] 孙峙峰,邹瑜,金沙. 我国被动式超低能耗居住建筑评价标示方法研究[J]. 建筑科学, 2016,32(4):35-43.
- SUN Zhifeng, ZOU Yu, JIN Xi. Study on the evaluation method of passive ultra low-energy residential buildings rating in China[J]. Building Science, 2016, 32(4):35-43.
- [12] 徐可西,武勇,李轶楠,等. 既有居住建筑能效提升若干关键问题研究[J]. 建筑科学, 2015,31(4):26-31.
- XU Kexi, WU Yong, LI Yinan, et al. Problems related to improvement of energy efficiency of existing residential buildings[J]. Building Science, 2015,31(4): 26-31.
- [13] 李轶楠,武勇,侯静,等. 新建居住建筑能效提升支撑体系[J]. 建筑科学, 2015,31(4):21-25.
- LI Yinan, WU Yong, HOU Jing, et al. Support system for improving efficiency of newly built residential buildings[J]. Building Science, 2015,31(4):21-25.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑热工设计规范:GB 50176-2016 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for thermal design of civil building :GB 50176-2016 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准:JGJ26-2010 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design standard for energy efficiency of residential buildings in severe cold and cold zones :JGJ26-2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准:JGJ 134-2010 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and cold winter zone: JGJ 134-2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准:JGJ75-2012 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and warm winter zone :JGJ75-2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [18] 潘鸿 张小宇 吴勇民. 应用统计学[M]. 北京. 人民邮电出版社,2011.
- PAN Hong, ZHANG Xiaoyu, WU Yongmin. Applied statistics[M]. Beijing. Posts & Telecom Press, 2011.
- [19] 艾尔斯派旗舰店. 艾尔斯派新风系统 HYQF350A [EB/OL]. [2017-07-10]. https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a220m.1000858.1000725.36.1d6f1eb3JExcNm&id=557114916828&skuId=3618181806794&user_id=3384967306&cat_id=2&is_b=1&rn=8ded7ba9a60be99676bb5145d8181774
- Ayers sends flagship store. Ayers style fresh air system HYQF350A [EB/OL]. [2017-07-10]. https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a220m.1000858.1000725.36.1d6f1eb3JExcNm&id=557114916828&skuId=3618181806794&user_id=3384967306&cat_id=2&is_b=1&rn=8ded7ba9a60be99676bb5145d8181774
- [20] 松下智能家居旗舰店. 松下新风系统全热交换器 FY-E25PMA 家用室内过滤 PM2.5 新风机换风机 [EB/OL]. [2017-07-10]. https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a220m.1000858.1000725.6.1cd545c4T0twxH&id=563524511268&skuId=3548739960835&user_id=2816031767&cat_id=2&is_b=1&rn=b6e5fd3a6a6ee4fa74ac239b6eb44452
- Panasonic smart home flagship store. Panasonic fresh air system total heat exchanger FY-E25PMA [EB/OL]. [2017-07-10]. https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a220m.1000858.1000725.6.1cd545c4T0twxH&id=563524511268&skuId=3548739960835&user_id=2816031767&cat_id=2&is_b=1&rn=b6e5fd3a6a6ee4fa74ac239b6eb44452
- [21] 湿腾营腾专卖店. 湿腾全热交换新风系统 XST-X350 [EB/OL]. [2017-07-10]. https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a220m.1000858.1000725.1.d811797YPxS0b&id=525981161371&user_id=2081373627&cat_id=2&is_b=1&rn=f0fa008e44578fe79d2535765961fa86
- Wet Teng Ying Teng store. Wet and full heat exchange fresh air system XST-X350 [EB/OL]. [2017-07-10]. https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a220m.1000858.1000725.1.d811797YPxS0b&id=525981161371&user_id=2081373627&cat_id=2&is_b=1&rn=f0fa008e44578fe79d2535765961fa86