

# 严寒地区典型城市既有非节能居住建筑采暖 能耗与节能潜力研究

刘馨,王晨辰,冯国会,梁传志,王桢炜

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要** 目的 研究严寒地区典型城市既有非节能居住建筑的采暖能耗,分析二次输配管网及建筑本体的节能潜力. 方法 选择两家供热公司的两座换热站进行实地测试,对换热站、二次输配管网以及建筑本体3处节点进行数据收集,分析采暖季的供暖能耗水平以及各节点处的能耗损失. 通过与《民用建筑能耗标准》(GB/T51161—2016)及《居住建筑节能检测标准》(JGJ—T132—2009)进行对比,得出各节点处的节能潜力. 结果 两座换热站间的各节点处的节能潜力差异较大,换热站的补水量处于较高水平. 建筑本体单位面积耗热量平均值为 $0.343 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,85.7%的建筑满足过量供热率,换热站的二次输配管网热损失在20%左右,换热站的供暖能耗平均值为 $0.37 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . 结论 科学评估非节能居住建筑能耗水平和节能量,加强供热运行的管理水平,按需供热,制定合理的运行调节策略,可以挖掘既有居住建筑节能潜力.

**关键词** 居住建筑;能耗水平;节点损失;节能潜力

中图分类号 TU111.19<sup>+5</sup>

文献标志码 A

## Energy Consumption and Energy Saving Potential of Non-energy-saving Residential Buildings in Typical Cities in Severe Cold Areas

LIU Xin, WANG Chenchen, FENG Guohui, LIANG Chuazhi, WANG Zhiwei

(School of Municipal and Environment Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

**Abstract:** This paper studies the heating energy consumption of non-energy-saving residential buildings in typical cities in severe cold areas, and analyzes the energy-saving potential of the secondary network and the building body. Two heating stations of two heating companies were selected for testing, and the data were collected from three nodes of the heat transfer station, secondary network and the building body. The heating energy consumption level of the heating season and the energy loss situation of each node were analyzed. By comparing the results with “standard for en-

收稿日期:2017-04-18

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0700104-07);能源基金会研发项目(G 1506-23358)

作者简介:刘馨(1983—),女,博士,主要从事既有建筑节能改造及低能耗建筑技术方面研究.

ergy consumption of building”(GB/T 51161 – 2016) and “standard for energy efficiency test of residential buildings”(JGJ – T132—2009), the energy saving potential at each node is obtained. The difference between the saving potential of two heating stations nodes is very large. In the meanwhile, the water supply of the heat transfer station is at a relatively high level. The average heating consumption of building body unit area is 0.343 GJ/(m<sup>2</sup>·a). 85.7% of the building meet the excessive heating rate, and the heat loss of the secondary network is about 20%. The average heating energy consumption of the heat transfer station is 0.37 GJ/(m<sup>2</sup>·a). The energy consumption and energy saving of non-energy-saving residential buildings is scientifically assessed. The energy saving potential of existing residential buildings can be tapped by strengthening the management level of heating operation, reasonable operating by heating in accordance with the requirement and having reasonable regulation strategies.

**Key words:** residential building; the heating energy consumption level; the energy loss of nodes; energy-saving potential

北方地区采暖能耗逐年增加,已达1.81亿t标准煤,占中国建筑总能耗的24.0%。2013年北方城镇供暖面积已由2001年的50亿m<sup>2</sup>增长至120亿m<sup>2</sup><sup>[1-3]</sup>;大量非节能居住建筑仍广泛分布于北方城镇,在这类建筑中,墙体发霉结露、屋顶老化漏水、设备年久失修、管网跑冒滴漏等现象普遍存在,严重影响居民生活质量、供热纠纷矛盾突出,但供热能耗却居高不下<sup>[4-7]</sup>。秦力<sup>[8]</sup>等针对北方地区居住建筑的室内、外温度与建筑物耗热量进行7~10d的测量;张威<sup>[9]</sup>等对寒冷地区农村住宅的围护结构、室内温度及住户主观热舒适感受等进行采暖能耗的研究;张素娟<sup>[10]</sup>通过收集建筑及住户家庭等基本情况、选取9户典型农宅在最冷月份针对采暖能耗进行7d的测试,并核算采暖季的煤电等消耗量。笔者以严寒地区典型城市的既有非节能居住建筑为测试对象,以换热站侧为重点,实际测试2015年11月至2016年3月采暖季供暖能耗,并进行分析,研究系统各节点的能量损失以及节能潜力,为科学评估能耗水平和节能量,推进既有建筑节能改造政策提供支撑。

# 1 既有非节能居住建筑采暖能耗测试

## 1.1 样本选择

既有非节能居住建筑采暖能耗测试样本

选择应基本符合测试地区采暖建筑的主流特征,对样本的分析可反映测试地区的采暖能耗,具有一定的代表性。为了解测试地区的能耗现状,所选测试城市样本应基本为集中供热系统,而且供热面积较大。选取的换热站能基本代表该城市集中供热系统特点,换热站应分散于该城市非节能建筑集中的区域,通过对换热站测试,对比供热公司间各换热站的能耗水平差异,应选取不同类型的换热站作为测试样本。

笔者主要对换热站及所供热建筑的整个采暖季的能耗进行测试。选取2座换热站:换热站A采用气候补偿器供热效果佳,换热站B补水能耗损失大。通过2座换热站了解不同测试对象的能耗。在换热站样本中各选取管网内1条支路作为测试样本,为充分反应平均能耗水平,样本中包含各不同类型的支路:换热站A测试支路的覆盖面积广,换热站B测试支路的沿线长。选择7栋对应建筑(SY1~SY7)进行测试,在已选取支路样本中选取距换热站最近、中间、最不利点的3~4栋建筑作为建筑样本进行数据采集与测量。2座换热站(A、B),2支对应二次输配管网(支路A'、支路B')以及7栋对应建筑的测试样本统计如表1所示。

## 1.2 能耗测试

首先,在换热站、二次输配管网及建筑本

表1 测试样本统计

Table 1 Statistics of test sample

换热站编号	二次输配管网编号	实测建筑编号	备注
A	支路A'	SY1	支路最近点
		SY2	支路中间点
		SY3	支路中间点
		SY4	支路最不利点
B	支路B'	SY5	支路最近点
		SY6	支路中间点
		SY7	支路最不利点

体处对采暖耗热量进行持续测量;其次,在所  
选测试建筑的住户家中放置温度自记仪,以  
得到室内的逐时温度.在建筑入口处安放流

量计和温度计,监测得换热站出口以及建筑  
入口处的热量值.其中,温度值为连续测量,  
时间间隔1 h,分阶段对流量进行测量,时间  
间隔为15 d.图1为测试方案示意图.图中的  
下角标1为换热站测试样本;下角标2为二  
次输配管网测试样本;下角标I、II、III分别  
为测试支路中最近点、中间点、最不利点的建  
筑编号;下角标3,I、3,II及3,III为建筑测  
试样本; $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_{3,I}$ 、 $T_{3,II}$ 及 $T_{3,III}$ 为测试样本  
的供水温度测点; $T_1'$ 、 $T_2'$ 、 $T_{3,I}'$ 、 $T_{3,II}'$ 及  
 $T_{3,III}'$ 为测试样本的回水温度测点; $V_1$ 、 $V_2$ 、  
 $V_{3,I}$ 、 $V_{3,II}$ 及 $V_{3,III}$ 为测试样本的流量测点;  
二次输配管网的测点在换热站内.

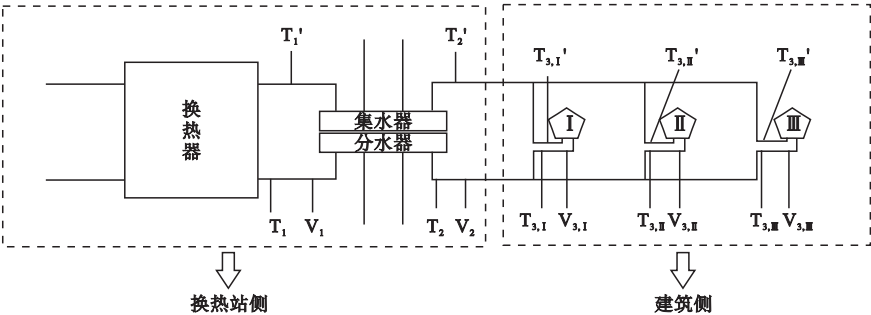


图1 测试方案示意图

Fig. 1 Schematic diagram of test scheme

## 2 采暖耗热量与过量供热量 计算

### 2.1 采暖耗热量

采暖耗热量包括热源或换热站的产热,  
以及管网和末端建筑的耗热量.根据测试方  
案,计算热源/换热站及建筑末端的热量,两  
者相减可到中间管网的热损失 $Q_s$ 为

$$Q_s = c \cdot m \cdot \Delta\theta. \tag{1}$$

式中: $Q_s$ 为耗热量,kJ; $c$ 为比热容,热水取  
4.18 kJ/(kg·℃); $m$ 为管道质量流量,kg/h;  
 $\Delta\theta$ 为供回水温差,℃.

建筑单位面积年耗热量是衡量供热效  
果的重要指标,其中供热单耗(单位面积耗  
热量 $Q_A$ )用采暖季总耗热量除以供暖时  
间得:

$$Q_A = \frac{Q_t \cdot t \cdot Z}{A}. \tag{2}$$

式中: $Q_A$ 为单位面积年耗热量,GJ/(m<sup>2</sup>·a);  
 $t$ 为日供热时间,h; $Q_t$ 为建筑耗热量,kJ/h; $Z$   
为供暖时间,实测地区按150 d计算; $A$ 为供  
热面积,m<sup>2</sup>.

二次输配管网热损失通过节点法测得,  
根据所测换热站与建筑节点处的相关温度与  
流量间接得到热损失.二次输配管网热损失  
率为

$$\alpha_{pl} = \frac{Q_{pl}}{Q_b}. \tag{3}$$

式中: $\alpha_{pl}$ 为二次输配管网热损失率,%; $Q_{pl}$   
为换热站所供建筑实际耗热量,GJ/(m<sup>2</sup>·a);  
 $Q_b$ 为换热站耗热量实测值,GJ/(m<sup>2</sup>·a).

### 2.2 过量供热量

由于换热站调控方式不当,导致不同建

筑的不同房间之间理论耗热量和实际耗热量不匹配,各个用户的室内温度冷热不均,则会出现过量供热与欠供热的现象.在目前末端缺乏有效调节手段的条件下,为了维持温度较低用户(也包括环路末端用户)的舒适性要求,多数采用加大热源侧供热量来满足要求.这样就会使得其他用户过热,造成过量供热.另外,由于供热系统未能根据气候的变化及时调节供热量,导致天气变暖时系统仍维持较大的供热量,致使供热初寒期和末寒期出现整个系统的过量供热现象.具体现象为部分用户室温高于 18 ℃,甚至出现室温高达 25 ℃ 以上的情况,高于 18 ℃ 的室内温升即由过量供热量所导致.过高的室温将引起居住者的不适,为了避免过热,住户常开窗降温,此举大幅度加大了室内外的空气交换量,加大了向外界的散热量,增加了供暖能耗.过量供热量可以通过计算得:

$$Q_g = q_b \cdot \frac{\theta_{in} - 18}{\theta_{in}}.$$

(4)

式中: $Q_g$  为过量供热量,  $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ ;  $q_b$  为建筑实际耗热量指标  $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ ;  $\theta_{in}$  为建筑平均温度, ℃.

过量供热率指标用于评价供暖终端用能水平,与建筑围护结构保温性、密闭性有关.根据《民用建筑能耗标准》(GB/T51161—2016)中规定,过量供热率指标约束值为 15%,引导值为 7%.过量供热率指标应为

$$\alpha_{ex} = \frac{q_{ex}}{q_r}.$$

(5)

式中: $q_{ex}$  为过量供热量指标,  $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ;  $q_r$  为建筑本体实际耗热量指标,  $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

3 采暖能耗分析

3.1 热源与换热站处能耗

3.1.1 换热站补水与热损失

供热管网常常存在跑冒滴漏的问题,特别是测试地区,管网大多为直接埋设于地下,漏水点不易确定,即使确定也不易修补.而末

端用户认为室内温度不理想时也会出现给散热器放水的情况,这些循环水量的流失就必须通过补水的方式进行补充,以维持管网的输热量.换热站的补水来源于自来水,通过测量各换热站的实际补水温度,并按照式(1)计算得到了相应的补水热损失(见表 2).

表 2 换热站采暖季补水热损失统计

Table 2 Heat loss statistics of heat transfer stations in during heating period

换热站 编号	补水温度/ ℃	补水量/ t	热损失/ (GJ·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	标准煤/ t
A	7.8	7 656	0.037 7	37.34
B	14.6	28 578	0.059 5	111.67

表 2 中热损失按照将补水加热到二次网供水温度(取 42 ℃)计算,在《综合能耗计算通则》(GB/T2589—2008)标准煤的折算取 29.307 kJ/kg.从表 2 中看出两座换热站的补水情况各不相同,由补水所产生的热损失分别占整个管网循环热量的 11.1%、15.26%.根据实际情况不易对管网漏水点进行修补,可通过提高室内温度减少用户私自放水的现象,减少补水热损失.

3.1.2 采暖季总能耗

表 3 为换热站采暖季的单位面积能耗统计,此能耗数据以换热站为节点计算,不考虑管网热损失.

表 3 换热站采暖季单位面积能耗统计

Table 3 Per unit area energy consumption statistics of heat transfer stations in during heating period

换热站 编号	煤耗/ (kg·m <sup>-2</sup> )	电耗/ ((kW·h)·m <sup>-2</sup> )	水耗/ (kg·m <sup>-2</sup> )	供热单耗/ (GJ·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
A	28.33	2.484	26.4	0.34
B	41.45	2.735	51.96	0.39

从表 3 中看出,换热站的供暖能耗均值为 0.37 GJ/(m<sup>2</sup>·a),换热站 A 各项能耗指标均较低,且 2 座换热站的煤耗与水耗相差较大,换热站 A 的煤耗、水耗分别较 B 节约 31.65%、49.19%.因为换热站 A 使用了气候补偿装置,换热站 A 的供暖现代化程



度高,运行管理水平较 B 好,所以在实际供暖中起到了较好的效果,有效降低了能耗水平.

3.2 二次输配管网能耗分析

热水由换热站输送至用户侧的过程中,虽然管路均有较好的保温措施,但由于温差所引起的热损失依然难以避免. 特别是对于严寒地区,冬季温度低、管线铺设长,由此产生的热损失就更为严重. 二次输配管网热损失通过节点法测得,耗热量通过温度和流量间接得到. 由式(3)计算得出实测换热站对应二次输配管网热损失统计(见图2).

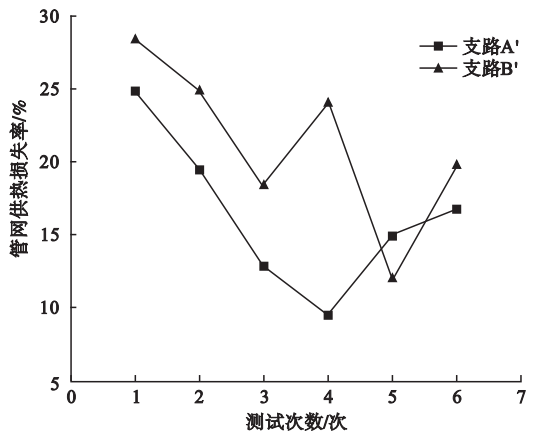


图2 实测管网损失率统计

Fig.2 Measured pipe network loss rate statistics

从图2中看到,各换热站的二次输配管网热损失率均处在较高的水平,支路 A' 与支路 B' 平均热损失率分别为 16.31%、21.12%,且支路 B' 所测支路热损失率较高. 从各次测量数据看,二次输配管网的热损失率并不是一个稳定的值,除去可能由于测量误差引起的极端值外,仍然存在较大的波动,而数据的波动则正好说明其中有较大的节能潜力.

3.3 建筑本体能耗分析

建筑本体的耗热量是反映建筑供暖末端实际能耗水平的重要指标,建筑本体耗热量、单位面积年耗热量(简称建筑单耗)分别按式(1)、式(2)计算. 表4给出了测试支路的采暖季耗热情况.

表4 测试支路单位面积耗热量统计  
Table 4 Test statistics branch heat consumption per unit area

换热站 编号	供热面积/ m <sup>2</sup>	总耗热量/ GJ	建筑单耗/ (GJ·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
A	230 787	82 390	0.34
B	41 498	16 516.26	0.35

根据测试结果,严寒地区典型城市既有非节能居住建筑的建筑单耗在 0.35 GJ/(m<sup>2</sup>·a)左右,低于多数文献中给出的 0.6 GJ/(m<sup>2</sup>·a)的水平<sup>[9-13]</sup>. 除去测量和计算的误差,测试结果偏小有以下几方面原因:测试地区处于严寒地区,居民冬季供暖期间并不会经常开窗,减少了冷风渗透引起的热量损失;测试建筑虽为未进行节能改造的既有非节能居住建筑,但其本身的保温性能也会较其他地区要好;测试建筑多建造于 20 世纪 90 年代,正处于节能 30% 向节能 50% 过渡的时期,建筑在设计时可能已经在向节能 50% 靠拢.

4 节能潜力分析

为获取较好的经济效益,在保证供热质量的前提下,需深度挖掘供热系统的节能潜力,降低能耗,充分提高能源环境效益. 如果供热系统运行不当,不仅会造成能源和资金的极大浪费,影响供热单位的生产效益与发展,而且影响受供住宅小区民众的切身利益与生活质量,供热不良(不均或过冷)必然引起用户的不满,甚至引发社会矛盾,影响和谐社会建设. 既有非节能居住建筑的改造工作主要包括建筑本体外围护结构改造、降低二次输配管网的不平衡率<sup>[14-16]</sup>. 通过对建筑本体与二次输配管网进行节能潜力理论分析,为下一阶段既有非节能居住建筑有关建筑本体的节能改造工作提供理论基础.

4.1 建筑本体节能潜力理论分析

4.1.1 理论耗热量

建筑本体的能耗现状由建筑的实测结果

得出,反映了当前建筑的实际能耗水平,其节能潜力与能耗基线相比所存在的能耗下降空间<sup>[17-19]</sup>.建筑理论耗热量是为了满足冬季室内温度舒适性要求所需要向室内提供的热量.单位建筑面积的理论耗热量与建筑的体形系数、围护结构传热系数、室内外的通风换气量以及室内温度等有关.随着建筑节能工作的深入.北方地区建筑供暖需热量已有显著的降低.《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)中规定实测地区建筑折算耗热量的约束值为 $0.33\text{ GJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,引导值为 $0.27\text{ GJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,将建筑单位面积耗热量与该标准进行对比,得出理论节能潜力(见图3).

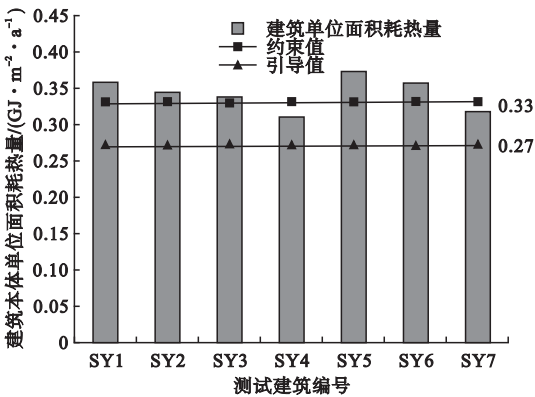


图3 建筑本体单位面积耗热量

Fig.3 Building body heat consumption per square meter

从图3中看到各建筑的节能潜力具有一定差距,建筑本体平均耗热量为 $0.343\text{ GJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,距约束值、引导值分别有3.94%、27%的节能潜力,较接近实际情况.换热站A(SY1~SY4)与换热站B(SY5~SY7)建筑本体的平均节能潜力(与引导值比较)分别为24.8%、29.6%,由此可见换热站A较B节能为19.4%.

4.1.2 实测过量供热量

对7栋建筑的过热供热量与过热供热率情况分别按照式(4)、(5)计算,结果如表5所示.根据《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)中规定,过量供热率指标为

20%.7栋建筑中有6栋满足该指标,所占比例约为85.7%.其中,换热站A的4栋建筑均满足该指标,说明其换热站对供热量的控制良好.建筑本体过量供热率指标如图4所示.

表5 建筑本体过量供热量、过量供热率

Table 5 Building body overheating and the rate		
建筑编号	过量供热量/( $\text{GJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )	过量供热率/%
SY1	0.021	5.8
SY2	0.039	10.0
SY3	0.017	4.56
SY4	0.001	0.21
SY5	0.107	26.47
SY6	0.072	18.18
SY7	0.011	3.12

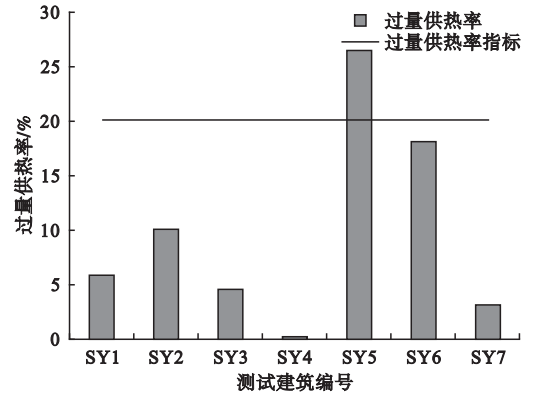


图4 建筑本体过量供热率指标

Fig.4 Building body overheating index

通过对建筑本体的理论耗热量和过量供热率的计算可知,换热站A的过量供热情况明显好于B;另外通过过量供热率反映出的换热站B存在较严重的室内温度不均的现象,应通过减小管网不平衡率及运行调节方式来解决.

由图4可知,建筑SY5的过量供热仍有很大的节能空间,节能率可达24.4%.由此可说明建筑围护结构对建筑耗热量影响较大,因此,建筑本体节能是减少非节能居住建筑采暖耗热量的有效途径.居住建筑的维护结构在节能技术上的处理主要是对维护结构的保温<sup>[20-21]</sup>,提高围护结构保温性、密闭性,减少过量供热,可以大大缓解对能源供应的

压力.

4.2 二次输配管网节能潜力理论分析

二次输配管网承担着将热量从热源输配到楼栋入口的任务,为了考核输配系统的运行情况,需要从管网热损失率进行评价.二次输配管网的能耗现状由实测的换热站支路供热量与相应建筑的实际得热量相减得到,具有反映二次管网的实际热损失情况,节能潜力是指通过管网改造等措施其热损失的下降空间.

根据《居住建筑节能检测标准》(JGJ - T132—2009)规定,二次输配管网热损失标准取 10%,换热站的输配管网理论节能潜力如表 6 所示.

表 6 二次输配管网理论节能潜力表

Table 6 Energy-saving potential table of secondary transmission and distribution network %

换热站编号	实测热损失	规范标准	节能潜力
A	16.31	10	37
B	21.12	10	53

由表 6 可知,如果按照 10% 的热损失标准进行分析,则测试地区供热二次输配管网节能潜力在 37% ~ 53%.但实际上现行规范标准并不能代表整体热损失水平,管网的热损失受保温、敷设、当地气象条件等多方面因素影响,改造的难度也各不相同,故实际的节能潜力会较理论值偏小.

5 结 论

(1)建筑本体供热单耗  $0.343\text{ GJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  接近于建筑折算耗热量约束值.与引导值对比得到理论节能潜力为 27%,较为接近实际情况.85.7% 的建筑满足过量供热率指标,且未满足该指标的建筑节能潜力为 24.4% 指标.

(2)二次输配管网的热损失在 16% ~ 22%,按照二次管网热损失 10% 的规范标准对比得到理论节能潜力在 37% ~ 53%,可见各供热公司的供热管网间存在较大差异.

(3)换热站层级供暖能耗平均值为  $0.37\text{ GJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,且换热站的补水量处于较高的水平,管网的补水主要由于管道的跑冒滴漏以及用户的放水行为.而由于测试供热管网大多为地下敷设,管道的查漏工作十分困难,重点应当做好末端散热器的管理工作.

参考文献

[1] 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 2015[R]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.  
(Research Center of Building Energy Efficiency of Tsinghua University. 2015 annual report on China building energy efficiency[R]. Beijing: China Architecture & Building Press,2015. )

[2] BYRNE A,BYRNE G,DAVIES A,et al. Transient and quasi-steady thermal behavior-ur of a building envelope due to retrofitted cavity wall and ceiling insulation[J]. Energy and buildings,2013,(61):356 - 365.

[3] KUSIAK A,LI M Y,ZHANG Z J. A datadriven approach for steam load prediction in building[J]. Applied energy, 2010, 87 (3): 925 - 933.

[4] 刘博智. 城市供热管网保温效果影响因素分析及检测方法研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2010.  
(LIU Bozhi. Analysis on factors affecting insulating and heat loss detecting methods of city heating network system[D]. Shenyang:Shenyang Jianzhu University,2010. )

[5] 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 2011[R]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.  
(Research Center of Building Energy Efficiency of Tsinghua University. 2011 annual report on China building energy efficiency[R]. Beijing: China Architecture and Building Press,2011. )

[6] ROSA A D. District heating network design and operation toward a system-wide methodology for optimizing renewable energy solutions (SMORES) in Canada;a case study[J]. Energy,2012,(45):960 - 974.

[7] ROSA A D,LI H,SVENDSEN S. Method for optimal design of pipes for low energy district heating with focus on heat losses[J]. Energy, 2011,36(5):2406 - 2418.

- [8] 秦力,赵娜,孙东风.严寒地区居住建筑采暖能耗实测结果分析[J].东北电力大学学报,2016,36(1):36-40.  
(QIN Li,ZHAO Na,SUN Dongfeng. Analysis on the measured results of heating energy consumption of residential buildings in severe cold area[J]. Journal of northeast electric power university,2016,36(1):36-40.)
- [9] 张威.寒冷地区农村住宅采暖能耗研究[D].天津:天津大学,2011.  
(ZHANG Wei. Study on the rural house heat consumption in cold area[D]. Tianjin: Tianjin University,2011.)
- [10] 张素娟.东北三省农宅供暖能耗统计与实测分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.  
(ZHANG Sujuan. Heating energy consumption statistics and test analysis of rural buildings in three northeast provinces [D]. Harbin: Harbin Institute of University,2013.)
- [11] 肖潇,李德英,刘珊.北方地区既有住宅建筑采暖系统综合评价体系研究[J].建筑节能,2011,(3):61-70.  
(XIAO Xiao,LI Deying,LIU Shan. Comprehensive evaluation system of existing residential buildings' heating[J]. Building energy saving,2011,(3):61-70.)
- [12] LIU L,FU L,JIANG Y,et al. Major issues and solutions in the heat-metering reform in China [J]. Renewable and sustainable energy reviews,2011,15(1):673-680.
- [13] ZAKARIA R,AMIRAZAR A,MUSTAFFAR M,et al. Daylight factor for energy saving in retrofitting institutional building [J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2013,(27):283-293.
- [14] 白雪莲,吴利均,苏芬仙.既有建筑节能改造技术与实践[J].建筑节能,2009(1):8-12.  
(BAI Xuelian,WU Lijun,SU Fenxian. Technologies and practice of energy-efficient reconstruction for existing buildings [J]. Building energy saving,2009 (1):8-12.)
- [15] SHIZ S,PEI L,JING X,et al. An economic and policy analysis of a district heating system using corn straw densified fuel [J]. Energy, 2017,10(1):1-22.
- [16] ALSHAMRANI O,ALKASS S,GALAL K. Energy consumption reduction using sustainable building envelopes` material in school buildings [J]. Proceedings, annual conference Canadian society for civil engineering,2011,4: 2858-2866.
- [17] 张燕.中国建筑节能潜力及政策体系研究 [D].北京:北京理工大学,2015.  
(ZHANG Yan. Research on potential and policy system of building energy efficiency in China [D]. Beijing:Beijing Institute of Technology,2015.)
- [18] 董磊.集中供热庭院管网能耗现状与节能措施研究[D].北京:清华大学,2014.  
(DONG Lei. Research on the condition of secondarysides of district heating systems in China and measures of energy saving [D]. Beijing: Tsinghua University,2014.)
- [19] 冯国会,刘光磊,李慧星,等.供热管网保温节能检测方法及应用分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2012(2):303-312.  
(FENG Guohui,LIU Guanglei,LI Huixing, et al. Analysis of testing methods and application of heat preservation and heat insulation for the heating network [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science),2012(2): 303-312.)
- [20] 王宏伟,刘智超,郝红.区域供热间接连接二次网供暖系统仿真[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2015(3):516-523.  
(WANG Hongwei,LIU Zhichao,HAO Hong. Simulation for heating system indirectly connected to secondary heating system [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science),2015(3):516-523.)
- [21] 李刚,冯国会,王丽,等.严寒地区农村住宅节能改造能耗模拟[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2012(5):884-890.  
(LI Gang,FENG Guohui,WANG Li,et al. Energy consumption simulation and analysis on energy saving reconstruction of rural house in China extreme cold areas [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science),2012 (5):884-890.)