

ICS 27.010
F 01



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXX—XXXX

节能量测量和验证技术要求 居住建筑供暖系统

Technical requirements of measurement and verification of energy
savings, heating system of residential buildings

(征求意见稿)

2014.3.6

20xx-xx-xx发布

20xx-xx-xx实施

国家质量监督检验检疫总局 发布
国家标准化管理委员会

前 言

本标准依据GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC20）提出并归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

节能量测量和验证技术要求 居住建筑供暖系统

1 范围

本标准规定了居住建筑供暖系统节能量测量和验证的术语和定义、项目边界、基本规定、测量和验证方法、不确定度分析。

本标准适用于居住建筑热水集中供暖系统及其相关的建筑围护结构节能改造项目的节能量测量和验证。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2589 综合能耗计算通则

GB/T 28750-2012 节能量测量和验证技术通则

JGJ/T 288 建筑能效标识技术标准

JGJ/T 132 居住建筑节能检测标准

3 术语和定义

GB/T 28750确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

居住建筑供暖系统 heating system of residential buildings

热源和散热设备分别设置且热源通过管道，以热水为介质向多个以居住为目的的热用户供给热量的设施。

3.2

直供系统 direct-connected system

热水不经过中间换热器进行二次换热，而直接向末端散热设备供热的系统。

3.3

间供系统 indirect-connected system

通过中间换热器加热用户侧的循环热水，向末端散热设备供热的系统。

3.4

热源设备 device of heat source

提供热能的设备，包括锅炉、换热设备、热泵机组、太阳能集热设备等。

3.5

室内校准温度 adjusted indoor temperature

用于计算校准能耗的逐日室内日平均温度。当基期逐日室内日平均温度低于统计报告期逐日室内日平均温度时，室内校准温度为统计报告期逐日室内日平均温度；当基期逐日室内日平均温度高于统计报告期逐日室内日平均温度时，室内校准温度为基期逐日室内日平均温度。

4 项目边界

4.1 不同类型项目的边界划分

居住建筑供暖系统节能量测量和验证的项目边界应包括热源、供热管网、末端散热设备在内的全部设备和系统。项目边界如图1~3所示。

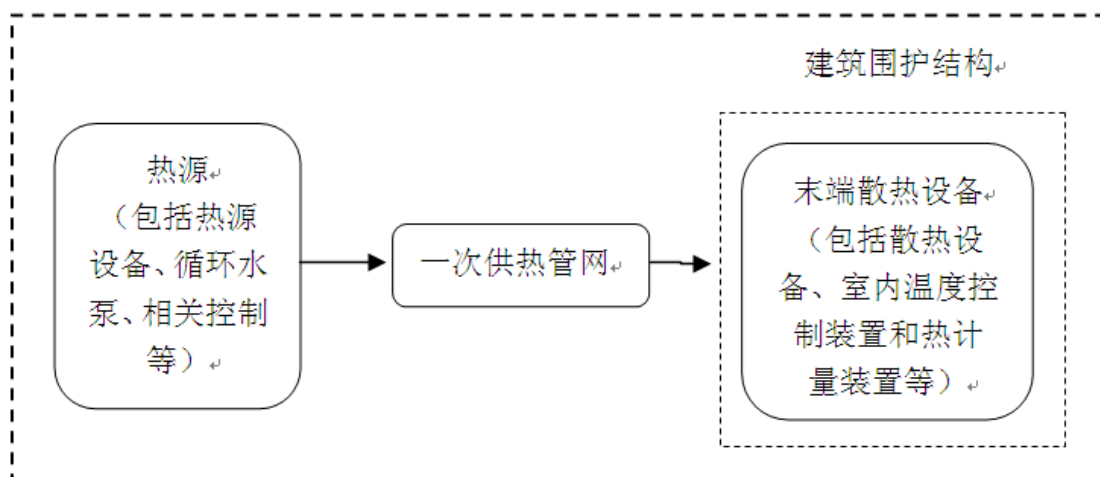


图1 直供系统项目边界示意图

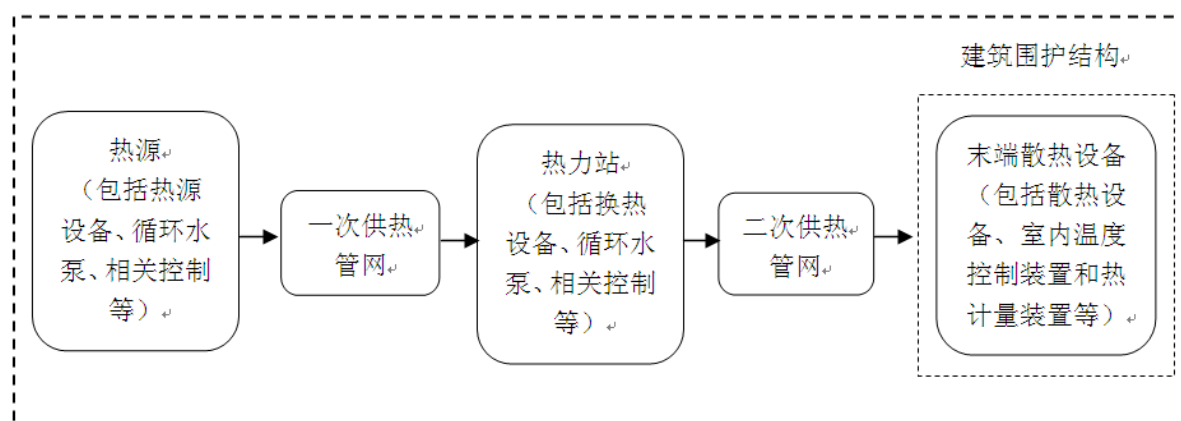


图2 区域热源间供系统项目边界示意图

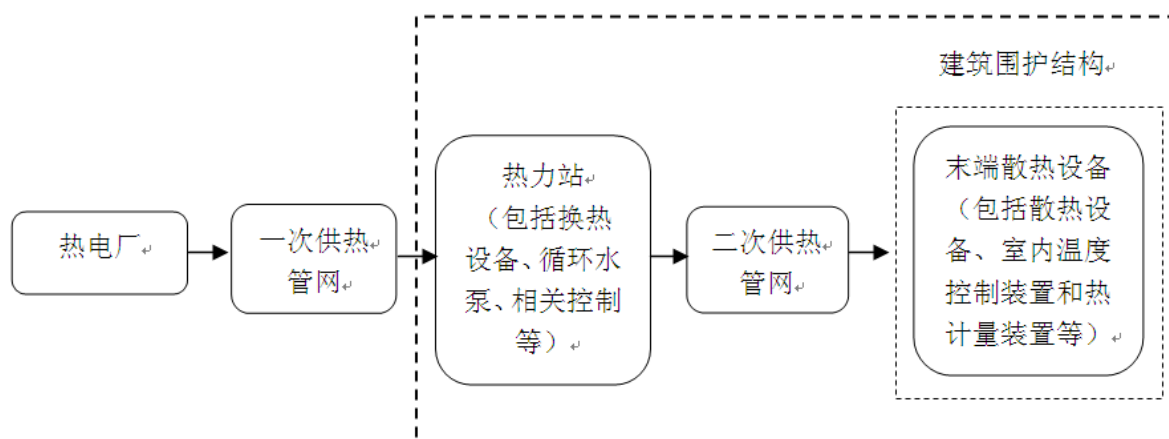


图3 热电联产间供系统项目边界示意图

4.2 不同系统能源消耗量的核算边界

- a) 对于直供系统，应以热源站房作为能源消耗量核算点；

- b) 对于区域热源间供系统,当热源设备改造时,宜以热源站房作为能源消耗量核算点;当热源设备未改造,且改造区域仅涉及30% (含30%) 以下热力站时,宜以热力站作为能源消耗量核算点,当热源设备未改造,且改造区域涉及30%以上热力站时,宜以热源站房作为能源消耗量核算点;
- c) 对于热电联产间供系统,应以热力站作为能源消耗量核算点。

5 基本规定

5.1 节能量计算的基本公式

按照GB/T 28750-2012的4.2给出的式(1) 计算

$$E_s = E_r - E_a \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

E_s ——节能量,吨标煤;

E_r ——统计报告期能耗,吨标煤;

E_a ——校准能耗,吨标煤。

5.2 节能量计算的基本要求

- a) 节能量计算时不同种类的能耗应换算成综合能耗;
- b) 当进行综合性节能改造时,节能量计算应包括热源的制热能耗 E_h 和输送能耗 E_p ;

当进行热源设备单项节能改造时,节能量计算仅包括热源的制热能耗 E_h ; 当进行

循环水泵单项节能改造时,节能量计算仅包括输送能耗 E_p ;

- c) 不同能源换算系数应按实际消耗原煤的低位发热值进行转换,在无法获得相应的热值检验报告时可参照GB/T 2589中的各能源折标准煤参考系数进行转换。

5.3 居住建筑供暖系统节能改造类型

居住建筑供暖系统节能改造类型分为热源设备单项节能改造、循环水泵单项节能改造和综合性节能改造三类:

- (1) 热源设备单项节能改造包括:
 - a) 热源设备或其控制系统节能改造;
 - b) 热源设备及其控制系统节能改造;
- (2) 循环水泵单项节能改造包括:
 - a) 循环水泵或其控制系统节能改造;
 - b) 循环水泵及其控制系统节能改造。
- (3) 综合性节能改造包括:
 - a) 热源设备及其控制系统与其它一项或多项节能改造同时发生;
 - b) 循环水泵及其控制系统与其它一项或多项节能改造同时发生;
 - c) 供热管网节能改造;

- d) 建筑围护结构节能改造;
- e) 末端散热设备节能改造
- f) 室内温控和热计量节能改造。

5.4 基期和统计报告期

基期应为节能措施实施前的一个完整供暖期;统计报告期应为节能措施实施后的一个完整供暖期。

6 测量和验证方法

6.1 “基期能耗—影响因素”模型法

6.1.1 适用条件

“基期能耗—影响因素”模型法适用于具有完整基期能耗数据的各类居住建筑供暖系统节能改造项目。

6.1.2 节能量计算

6.1.2.1 “基期能耗—影响因素”模型的建立

应按式(2)对基期数据进行回归分析,建立“基期能耗-影响因素”相关性模型。

$$e_{bhj} = A_0 + A_1 \sum_{i=1}^n (t_{di} - t_{wi}) + \dots + A_2 \left(\sum_{i=1}^n (t_{di} - t_{wi}) \right)^m \dots\dots\dots (2)$$

式中:

e_{bhj} ——基期单位建筑面积的逐日/月制热能耗,单位为吨标煤每平方米(tce/m²);

A_0 、 A_1 、 A_2 ——回归系数;

t_{wi} ——基期逐日室外平均温度,单位为度(℃);

t_{di} ——基期逐日室内平均温度,单位为度(℃);

j ——基期的样本数,逐月回归时,至少采用两个完整供暖期逐月的样本数据,逐日回归时,应采用一个完整供暖期逐日的样本数据;

n ——基期取样的时间段;逐日回归时为1,逐月回归时为当月实际供暖天数;

m ——相关性模型的幂次,根据模型的拟合程度,确定合适的幂次,一般情况下 m 不大于3。

6.1.2.2 校准能耗的计算

$$E_a = M \times \left(\sum_{j=1}^N e_{ahj} + e_{ap} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$e_{ahj} = A_0 + A_1 \sum_{i=1}^{n'} (t_{di}' - t_{wi}') + \dots + A_2 \left(\sum_{i=1}^{n'} (t_{di}' - t_{wi}') \right)^{m'} \dots\dots\dots (4)$$

$$e_{ap} = e_{bp} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

E_a ——校准能耗,单位为吨标煤每平方米(tce/m²);

e_{ahj} ——校准后单位建筑面积的逐日/月制热能耗,单位为吨标煤每平方米(tce/m²);

对循环水泵单项节能改造项目, e_{ahj} 为0;

e_{ap} ——校准后单位建筑面积的输送能耗, 单位为吨标煤每平方米 (tce/m^2); 对热源设

备单项节能改造项目, e_{ap} 为0;

M ——统计报告期内居住建筑供暖系统所供给的建筑面积, 单位为平方米 (m^2);

t_{wi}' ——统计报告期逐日室外日平均温度, 单位为度 ($^{\circ}C$);

t_{di}' ——统计报告期室内校准温度, 单位为度 ($^{\circ}C$);

n' ——统计报告期取样的时间段, 逐日计算时为1, 逐月计算时为当月实际供暖天数。

N ——逐日回归时统计报告期天数, 逐月回归时统计报告期月数;

e_{bp} ——基期单位建筑面积的输送能耗, 单位为吨标煤每平方米 (tce/m^2)。

6.1.2.3 节能量计算

按公式(1)计算节能量。

6.1.3 数据的获取

6.1.3.1 基本原则

基期数据宜利用已有运行数据统计分析获得, 当无运行记录时, 应采用测量或者模拟的方法获得; 统计报告期数据应采用测量的方法获得。

6.1.3.2 可通过统计分析获取的数据

可通过统计分析获取的数据包括:

- a) 供暖建筑面积;
- b) 供暖期逐日室外日平均温度;
- c) 供暖期逐日室内日平均温度;
- d) 供暖期内各月供暖天数;
- e) 供暖期逐日/月供热量;
- f) 供暖期逐日/月制热能源消耗量;
- g) 供暖期循环水泵逐日/月耗电量。

6.1.3.3 可通过测量获取的数据

可依据JGJ/T 132、JGJ/T 177测量获得的数据包括:

- a) 供暖期逐日室外日平均温度;
- b) 供暖期逐日室内日平均温度;
- c) 供暖期逐日/月供热量;
- d) 供暖期燃料逐日/月消耗量;
- e) 供暖期循环水泵逐日/月耗电量。

其中, 供暖期室内日平均温度的取样还应满足以下要求:

- a) 在居住建筑供暖系统最不利环路上, 分别在距离节能量核算点近、中、远处各选取至少一栋代表性建筑物作为测温对象;
- b) 每栋代表性建筑物应选取至少9户(间)有代表性的住户(房间)作为测温用户; 每栋代表性建筑物测温用户的总供暖面积不得小于该建筑总供暖面积的10%; 测温用户不涉及居住建筑底层商铺区域;
- c) 节能改造前后的测温点应一致。

6.1.4 模型的校核

应对能耗影响因素相关性模型进行评估, 相关性模型变异系数 R^2 一般不应小于0.75。

6.2 直接比较法

6.2.1 适用条件

直接比较法适用于节能措施可关停且对系统正常运行无影响的居住建筑供暖系统节能改造项目。

6.2.2 节能量计算方法

采用直接比较法的项目节能量计算按照以下步骤进行，

- a) 在统计报告期内，节能措施开启时，测量典型工况下居住建筑供暖系统总能耗

$$(E_{on,i});$$

- b) 在统计报告期内，节能措施关闭时，测量典型工况下居住建筑供暖系统总能耗

$$(E_{off,i});$$

- c) 典型情况的选取，应覆盖室内温度、室外温度、运行时间等主要影响因素的极大值、极小值与平均值；节能措施开启和关闭时典型工况下对应的能耗影响因素值偏差允许范围应由相关方事先约定。

将各典型情况下的 $E_{on,i}$ 和 $E_{off,i}$ 作为输入数据，根据测量和验证方案中约定的计算方法

分别确定 E_r 和 E_a ；

由式 (1) 计算 E_s 。

6.2.3 数据的获取应符合6.1.2和6.1.3规定。

6.3 模拟软件法

6.3.1 适用条件

适用于无法获得基期能耗数据的项目。

6.3.2 模拟软件的功能要求

- a) 基期和统计报告期的室外温度、室内温度应能逐时或逐日输入；
b) 模拟软件应能计算逐日负荷和逐日能耗。

6.3.3 模拟软件法的输入参数应满足表2的要求。

表 2 基期和统计报告期的输入参数要求

名称	基期	统计报告期
围护结构参数	计算值	计算值
室内温度 (°C)	实测值，若无实测数据，则采用18°C	实测值
换气次数 (次/h)	0.5	0.5
建筑物内部得热 (W/m ²)	3.8	3.8
锅炉运行效率	实测值	实测值
循环水泵的耗电输热比	实测值	实测值
管网输送效率	实测值	实测值

注：节能改造时未涉及部分，输入参数可采用竣工图中的参数。

6.3.4 模拟软件的校准

模拟软件所采用的计算模型应经过校准，计算误差应满足以下要求：

- a) 当统计报告期的能耗数据完整时，需满足月误差 $ERR_{月}$ 、年误差 $ERR_{年}$ 和均方差 CV 这三个指标的可接受范围分别为： $\pm 15\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 10\%$ ；

- b) 当统计报告期仅有一周的测试数据时，需满足周误差 $ERR_{周}$ 为 $\pm 10\%$ 。

6.3.5 节能量的计算

(1) 基期和统计报告期的能耗计算可按《建筑能效标识技术标准》JGJ/T 288附录A.1中标识建筑能耗计算方法进行，并将能耗折算到标准煤耗。

(2) 计算校准能耗时，应将室外温度、室内温度及供暖天数调整至统计报告期后重新计算基期能耗作为校准能耗。

(3) 节能量 E_s 按公式(1)计算。

7 不确定度

7.1 概述

节能量是没有发生的量，因此节能量不存在真值和误差。在确定测量和验证方案（包括测量和验证的数据基础、成本、目的等内容）后，可以评价节能量评估结果的不确定度，以说明节能量评估结果的可信赖程度。其表达方式是：一定置信水平下的节能量置信区间。

7.2 不确定度的来源

7.2.1 使用“基期能耗-影响因素”模型法时，节能量的不确定度可能来源于：

- a) 基期和报告期数据的测量、计量或统计；
- b) 模型；
- c) 抽样；
- d) 非常规调整。

7.2.2 使用直接比较法时，节能量的不确定度可能来源于：

- a) 基期和报告期数据的测量、计量或统计；
- b) 抽样。

7.2.3 使用模拟软件法时，节能量的不确定度可能来源于：

- a) 基期和报告期数据的测量、计量或统计；
- b) 模型；
- c) 抽样。

7.3 不确定度的量化分析

7.3.1 对于测量、计量或统计相关的不确定度，可参照参考文献[1]进行量化分析。

7.3.2 对于抽样的不确定度，可参照参考文献[2]的附录B、参考文献[3]附录B进行量化分析。

7.3.3 对于模型的不确定度，可参考文献[3]的附录B进行量化分析。

7.3.3.1 当采用数学模型进行非常规调整时，可参考模型的不确定度量化分析方法。

7.3.3.2 当采用人为约定进行非常规调整时，所有的调整量均应加入置信区间。

7.3.4 不确定度的量化分析需要较高的成本和人员能力。因此，通常可以忽略那些不重要的不确定度来源，仅对重要的不确定度来源（如模型或抽样等）进行分析。例如：在检定有效期内的计量仪表的数据可认为具有较低的不确定度，在分析时可以忽略。

附录 A

（资料性附录）

居住建筑供暖系统节能量测量和验证示例

A.1 项目基本情况和项目边界

该项目现有热源厂 3 座，热力站 59 座，采暖季总供热面积 893.8 万平方米，总耗原煤 150917 吨，原煤热指标 5700kcal/kg，折合一个采暖季单位面积耗原煤量为 17.86kg/m²。项目提供了改造前 2008-2009、2009-2010、2010-2011 三个采暖季逐月的煤耗数据及天气参数，基础数据齐全。该项目实施了多种节能改造技术，包括气候补偿、水力平衡、分时分区控制等。这些节能改造技术单独的节能效果很难拆分，因此，应采用“基期能耗-影响因素”模型法对项目整体的节能量进行计算。

A.2 项目基期及基期能源利用状况

本项目提供了连续三年逐月的煤耗数据（共 15 个样本点）。详细数据见表 A.1。

表 A.1 基期煤耗（原煤，单位：kg/m²/月）

	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
2008 年	2.42	5.16	6.02	4.40	1.33
2009 年	2.74	5.56	7.29	4.74	1.58
2010 年	2.43	5.42	7.36	4.22	1.38

根据原煤热指标 5700kcal/kg，将其转化成标煤用于回归模型制作。转化结果见表 A.2。

表 A.2 基期煤耗（标煤，单位：kg/m²/月）

	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
2008 年	1.97	4.2	4.9	3.58	1.08
2009 年	2.23	4.53	5.94	3.86	1.29
2010 年	1.98	4.41	5.99	3.44	1.12

根据统计的基期的室内外温度，计算累计的基期室内外温度差（室内温度取 18℃），统计结果见表 A.3。

表 A.3 基期室内外温度差累计值 $\sum t_d - t_w$

	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
2008 年	400	626	669	493	205
2009 年	408	660	749	558	339
2010 年	358	622	730	529	240

A.3 模型的建立

在进行回归模型前，首先需观察能耗与影响因素之间的关系，通过分析，发现基期各样本对应时间段内单位面积能耗与基期各样本对应时间段内室内外温差累计值之间存在强相关。但某些样本点的数据并不理想，因此，需要对样本进行筛选，并选用筛选后的样本点进行模型的建立。

进行样本筛选后共有 14 个样本点进入回归模型的建立。2008 年~2010 年供暖季基期筛选后样本点能耗与各样本点室内外温差累计值之间的关系如图 A.1 所示。

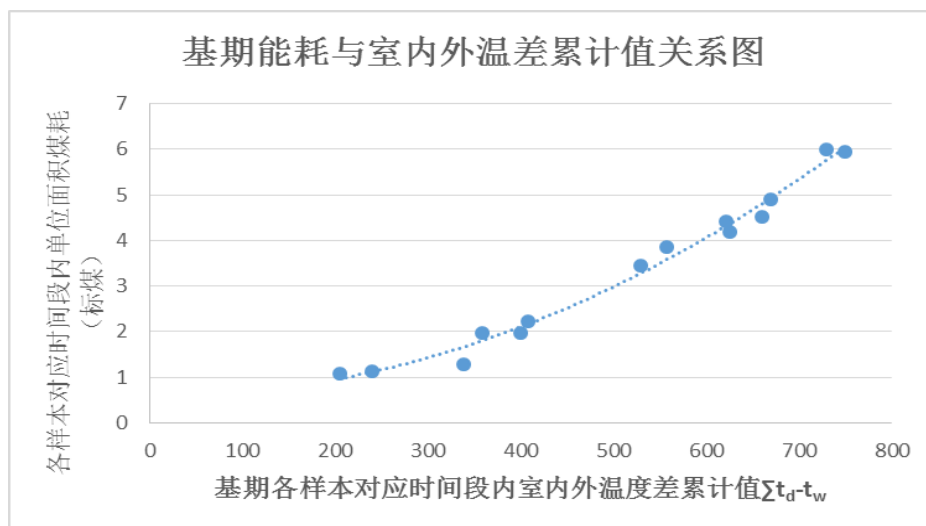


图 A.1 基期能耗与室内外温差累计值关系图（2008-11-15~2010-3-15）

从图 A.1 中可发现，基期每月平均单位面积耗煤量与其对应时间段内的室内外温差累计值存在很强的相关性，因此，可通过回归拟合的方法建立基期能耗模型。本项目使用统计分析软件进行基期能耗模型的回归拟合，以平均每月单位面积耗煤量（标煤）作为因变量（y），以各样本点对应时间段内的室内外温差累计值 Σt_d-t_w 作为自变量（x）。

回归拟合的结果见表 A.4 和图 A.2。

表 A.4 回归结果

方程	回归模型的评估参数		回归系数		
幂次	R^2	F	A_0	A_1	A_2
2	0.987	432.778	0.595	-2.1072×10^{-4}	9.9858×10^{-6}

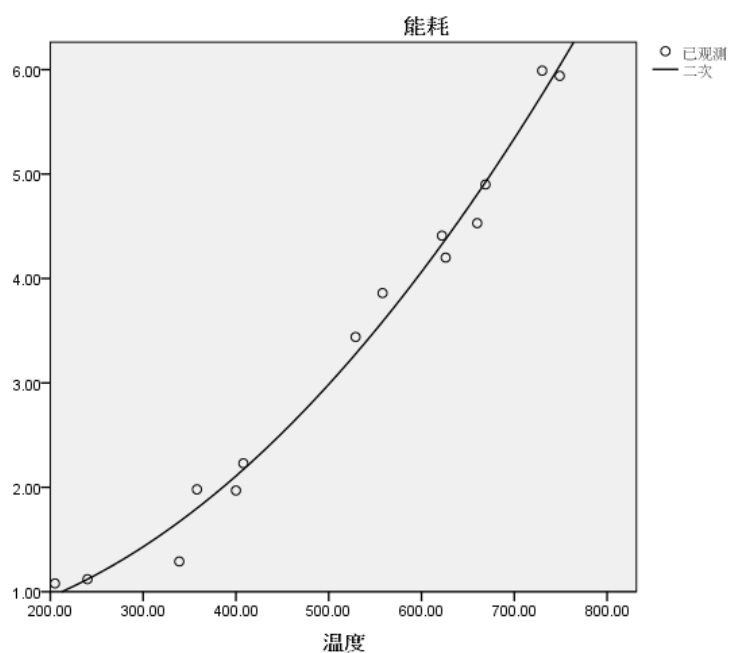


图 A.2 拟合曲线情况

从表 A.4 中可看出，该模型的拟合优度 R^2 为 0.987，模型 F 值为 432.78，各回归系数为：

$$A_0=0.59496, A_1=-2.1072 \times 10^{-4}, A_2=9.9858 \times 10^{-6}.$$

A.4 统计报告期能源利用情况

根据本项目节能改造结束后作为统计报告期，即 2011-2012 采暖季。统计报告期煤耗见表 A.5。

表 A.5 统计报告期煤耗（原煤，单位：kg/m²/月）

	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
2011 年	2.51	4.22	5.41	4.54	1.86

表 A.6 统计报告期室内外温度差 $\Sigma td-tw$

	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
2011 年	358	622	730	529	240

表 A.7 统计报告期供暖面积和原煤热值

	供暖面积(万 m ²)	原煤热值(kcal/kg)
2011 年	893.8	5600

A.5 节能量计算

本项目为整个供暖系统的节能改造，但其水泵的能耗与其他耗电设备混在一起很难进行拆分，且未对水泵进行针对性的改造，因此，与委托方协商确定，未对水泵节能量进行计算。

根据测量的室内外温度，并计算对应日期的累计室内外温差，可得出统计报告期的累计室内外温差，见表 A.6。

将表 A.6 的数据带入校准后的基期能耗模型中，计算校准能耗。计算结果见表 A.8。

表 A.8 校准能耗（标煤，单位：kg/m²/月）

序号	日期	校准能耗（kgce/m ² /月）
1	11 月	1.80
2	12 月	4.33
3	1 月	5.76
4	2 月	3.28
5	3 月	1.12

因此，校准后的全年单位面积标准煤耗为 16.29kgce/m²。

改项目的校准能耗为：

$$E_a=16.29 \times 10^{-3} \times 893.8 \times 10^4=145570 \text{（吨标煤）}$$

根据收集的统计报告期的原始煤耗及原煤热值，可计算统计报告期的单位面积标准煤耗，计算结果见表 A.9。

表 A.9 统计报告期标准煤耗（标煤，单位：kg/m²/月）

	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
2011 年	2.01	3.38	4.33	3.63	1.49

因此，统计报告期的全年单位面积标准煤耗为 12.05 kgce/m²。

统计报告期全年能耗：

$$E_r=14.83 \times 10^{-3} \times 893.8 \times 10^4=132551 \text{（吨标煤）}$$

总节能量：

$$E_s=E_a-E_r=145570-132551=13019 \text{（吨标煤）}$$

A.6 不确定度的计算

本次回归模型的建立选取了连续三年的 14 个统计样本，因此，将计算抽样误差，及模型误差。

本次回归拟合采用的数据为真实统计的原煤入库单的数据，煤的热值来源于第三方的热值检验报告，计算此两部分的测量不确定度对于计算节能量没有太大意义；温度数据来源于高精度温度自记仪，其误差相比于抽样误差、模型误差的影响非常小，因此，本例将忽略测量误差。

a) 模型不确定度计算：

根据公式 (6)、(7)、(8)，计算模型的不确定度：

首先确定模型不确定度计算的基本信息：n=14, p=2, 取 $\frac{\alpha}{2}=0.1$ ；

查 t 检验表可知，t 值为 1.363。

回归模型计算估计值的标准偏差： $SE_{\hat{y}} = \sqrt{\frac{0.489}{11}} = 0.211$ ；

模型误差： $Y_y = 1.363 \times 0.211 = 0.287$

模型预测值的均值： $\bar{\hat{Y}}_i = 3.35$

模型不确定度： $U_y = \frac{Y_y}{\bar{\hat{Y}}_i} = \frac{0.287}{3.35} = 0.0856 = 8.56\%$

即在 80% 的置信度条件下，14 个样本的平均值会落在 3.35 (1±8.56%) 的范围内。

b) 抽样不确定度计算：

在建立数学模型时，包含了 3 月和 11 月的数据，但此部分数据为半个月的数据，相比其他数据要明显偏小，因此，在做抽样不确定度计算时应进行变形。

采用单位室内外温差能耗作为抽样不确定度的分析样本。

单位室内外温差能耗计算公式：

$$y' = y / (\sum (t_d - t_w))$$

其中：

y' ——单位是内外温差能耗；

y ——对应时间段内的单位面积能耗；

$\sum (t_d - t_w)$ ——对应时间段内的室内外温差。

根据公式 (9)、(10)、(11)，计算抽样的不确定度：

$$SE_s = \sqrt{\left(1 - \frac{14}{15}\right) \left[2.19 \times 10^{-5} / 13\right] / 14} = 8.9 \times 10^{-5}$$

查 t 检验表可知，t 值为 1.35。

抽样误差： $Y_s=1.35\times 8.9\times 10^{-5}=0.00012$

抽样值的均值： $\bar{y}'=0.0622$

抽样不确定度： $U_s=\frac{Y_s}{\bar{y}'}=\frac{0.00012}{0.0622}=0.0195=1.95\%$

c) 综合不确定度计算：

根据公式（14）计算综合不确定度：

该项目的综合不确定度为： $U_{Es}=\sqrt{0.0856^2+0.0195^2}=0.0878=8.78\%$

即在 80%置信度下，节能量计算的相对精确度为 8.78%。
