

# 集中供热系统二次网供暖参数优化研究

北京建筑工程学院 张群力<sup>☆</sup>

清华大学 狄洪发

**摘要** 目前我国集中供热系统的二次网供回水温度存在设计参数高、运行参数低的现象,同时集中供热系统应用形式呈现出多样性的特点。如何在不同的燃料价格和设备基价背景下,优化选择二次网供暖设计参数值得深入研究。调研了国内外集中供热系统的二次网供暖设计参数和我国部分城市二次网供暖运行参数情况,建立了二次网供暖设计参数影响集中供热系统技术经济性的分析模型,通过模拟分析得出了散热器和地面供暖系统的二次网供暖优化设计参数。

**关键词** 集中供热 一次网 二次网 供水温度 回水温度

## Optimal research on secondary network temperature of central heating systems

By Zhang Qunli<sup>★</sup> and Di Hongfa

**Abstract** Considering the status of higher design temperature parameters and lower operation temperature parameters in the secondary heating network of central heating systems with a diversity of application forms at present, deems it worthy to further study for optimizing the design temperature parameters of the network in different price conditions of fuel and devices. Investigates the design temperature parameters at home and abroad and the operation temperature parameters in some cities of China. Establishes a mathematical model for analysing influences of the design parameters on the cost-effectiveness of central heating systems. Obtains the optimal design temperature parameters for radiator and floor panel heating systems by simulation and analysis.

**Keywords** central heating, primary heating network, secondary heating network, supply water temperature, return water temperature

★ Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing, China

①

### 0 引言

目前我国集中供热系统二次网设计供回水温度为 95℃/70℃。而我国集中供热系统二次网的实际运行供回水温度低于规范中的设计参数,部分项目的设计参数也已经低于该参数。室外条件、设计和运行环节等均会造成集中供热系统实际运行参数低于设计参数。造成我国集中供热系统二次网供回水运行温度偏低的原因如下:1) 实际散热器面积大于设计值;2) 实际流量值大于设计值;3) 实际室外温度低于设计室外温度。

集中供热系统形式呈现多样性的特点,例如不同燃料的热源形式、各种低温高效散热性能的散热器末端形式、各种回收余热的装置和设备形式逐渐被

应用到集中供热系统中。因此不同的系统形式应该有与之相适宜的二次网设计参数。此外,二次网供回水温度对整个集中供热系统的节能性、初投资和运行费均有较大的影响,不同的管网基价和燃料价格对供热系统整体的初投资和运行费会产生较大的影响。因此如何根据我国当前的国情合理地选取和设定我国集中供热系统二次网供暖温度设计参数值得深入研究。

本文首先介绍我国集中供热系统二次网供回

①☆ 张群力,男,1977年8月生,博士,副教授  
100084 北京建筑工程学院环境与能源工程学院  
(0) 13522898182  
E-mail: zhangqunli@bucea.edu.cn  
收稿日期:2012-05-10  
修回日期:2012-06-06

水温度的设计参数和实际运行参数的调研情况,以及其他国家集中供热系统的二次网设计温度参数情况;然后分析改变二次网供回水温度对集中供热系统各环节的初投资、运行费等方面的影响;采用比较分析和敏感性分析方法,分析二次网供暖温度设计参数对集中供热系统年运行费的影响,找出适合不同集中供热系统形式的二次网供暖温度设计参数,为修订我国集中供热系统的二次网供暖温度

设计参数提供相关参考依据。

## 1 集中供热系统二次网供暖参数调研

### 1.1 二次网供暖运行参数调研

主要调研了黑龙江省(大庆)、吉林省(长春、通化、珲春)、北京市、河北省(衡水、保定)、山西省(太原、吕梁)、山东省(济南、青岛)等部分地区集中供热系统二次网的实际运行供回水温度,具体参数情况如表1所示。

表1 我国北方部分城市集中供热系统运行参数

		调研期间的平均温度/℃				调研时间
		二次网供水	二次网回水	温差	室外温度	
黑龙江	大庆	64.0	52.8	11.2		2005-01-01-31
吉林	长春	63.3	50.0	13.3	-16.6	2005-12-25-30
	通化	47.8	40.0	7.8	-8.5	2009-01-01-31
	珲春	49.7	40.1	9.6	-7.9	2009-01-01-31
北京		60.0	45.3	14.7	0.3	2009-01-01-31
		56.7	46.8	9.9	-1.8	2008-01-01-31
		56.0	48.0	8.0	-1.8	2008-01-01-31
河北	衡水	53.7	43.8	9.9	-0.5	2009-01-01-31
	保定	58.4	49.2	9.2		2009-01-01-31
山东	济南	55.3	46.7	8.6		2008-01-01-31
	青岛	51.3	41.6	9.7	-0.4	2009-01-01-31
山西	太原	50.2	42.1	8.1		2009-01-15
	吕梁	63.1	53.6	9.5		2009-01-01-31

从我国集中供热系统调研案例可知,二次网的实际运行温差均小于设计温差 25℃,本文调研案例的二次网在严寒期间的运行温差约为 7.8~14.7℃。这些系统在运行期间的室外平均温度约为 -16.6~0.3℃,二次网供水温度约为 47.8~64.0℃,二次网回水温度约为 40.0~53.6℃。

从表1可以得出我国北方地区部分城市集中供热系统二次网供回水温度的实际运行状况。如果折合到相同的室外温度工况下,我国集中供热系统二次网的实际运行参数呈现“北低南高,西高东低”的现象。

### 1.2 国内二次网供暖设计参数调研

通过对建筑设计院所调研可知,我国北方部分城市集中供热系统二次网的供回水温度设计参数如表2所示,呈现“北高南低,西高东低”的现象。

### 1.3 国外二次网供暖设计参数调研

根据国际能源署(IEA)出版的区域供热供冷手册<sup>[1]</sup>和文献<sup>[2]</sup>的调研结果可知,国外集中供热系统的设计参数如表3所示。可以看出,国外集中供热系统的二次网供回水设计参数存在向低温供热发展的趋势。其中丹麦、芬兰、德国、波兰和韩国等国家的纬度与我国北方供暖城市相近,这些国家

表2 国内部分地区集中供热系统二次网供回水温度设计参数

		二次网供水温度/℃	二次网回水温度/℃
黑龙江	哈尔滨	95	70
吉林	长春	95	70
辽宁	沈阳	85/80	60/55
北京		80/75	60/55
天津		85	60
河南	郑州	85	60
山东	济南	80	60
	青岛	80	60
山西	太原	85	60
陕西	西安	80	60
甘肃	兰州	95	70
宁夏	银川	85	60

表3 国外集中供热系统二次网供回水温度设计参数

	二次网供水温度/℃	二次网回水温度/℃	室内设计温度/℃
波兰	80	60	20
芬兰	70	40	20
欧洲标准 EN442	75	65	20
丹麦	70	40	
韩国	70	50	
罗马尼亚	95	75	
俄罗斯	95	70	
德国	80	60	

的集中供热系统二次网的设计供水温度约为 70~80℃,二次网设计回水温度约在 40~65℃之间,采用 70℃/40℃,70℃/50℃,80℃/60℃,75

℃/65℃等供回水设计参数。结合我国的实际情况,应该降低和重新修订我国集中供热系统二次网的设计供回水温度参数。

#### 1.4 调研结果分析

根据对国内外集中供热系统的设计参数和实际运行参数调研可知:

1) 国内集中供热系统二次网供回水温度的设计参数多数采用 95℃/70℃,85℃/60℃,也有采用 75℃/55℃的;

2) 国外集中供热系统二次网供回水温度的设计参数多采用 70℃/40℃,70℃/50℃,80℃/60℃,75℃/65℃等,室内温度设计参数为 20℃;

3) 在本文调研的几个国内集中供热系统案例中,调研运行期间的室外平均温度约为 -16.6~0.3℃,二次网供水温度约为 47.8~64.0℃,二次网回水温度约为 40.0~53.6℃;

4) 根据国内集中供热系统调研案例可知,这些案例的二次网运行温差约为 7.8~14.7℃,均小于设计温差 25℃。

## 2 二次网供暖参数对集中供热系统经济性的影响分析

### 2.1 集中供热系统构成描述

集中供热系统主要包括热源、一次网、热力站、二次网、室内管网、散热末端 6 个环节。如果保持二次网供回水温差不变,降低二次网平均设计温度,会造成散热末端的初投资增加;二次网温度降低还会造成一次网回水温度降低,增大一次网的运行温差,由此会降低一次网的初投资和一次网循环水泵的运行费用。另外还会增大热力站的换热温差,从而会降低热力站的初投资。

### 2.2 集中供热系统经济性分析模型

#### 2.2.1 供热系统初投资

集中供热系统的初投资构成如下:

$$C_{\text{总}} = C_{\text{热源}} + C_{\text{一次网}} + C_{\text{热力站}} + C_{\text{二次网}} + C_{\text{室内管网}} + C_{\text{散热末端}} \quad (1)$$

式中  $C$  为初投资;下标表示各环节。

#### 1) 热源投资

对于燃煤锅炉房等热源形式,供热系统的设计温度对热源的初投资影响不大,热源部分的初投资主要受供热规模(供热负荷)和热源形式的影响。因此热源部分的投资可以考虑为常数。

#### 2) 管网投资

热网的初投资受热网的设计温差、比摩阻、管网的结构参数(管径和管长)及其投资的影响较大。因此本文在分析不同设计温差对一次网初投资的影响时,需要保持一次网的主干管网的平均比摩阻基本不变。

对于热水供热管网,管网的基建费用近似与管径呈线性关系,因此可以根据管网基价估算指标得出,即

$$K = a + bd \quad (2)$$

式中  $K$  为单位管长的基建费用,元/m; $d$  为管道的公称直径,m; $a, b$  与管网的铺设方式有关,单位分别为元/m 和元/m<sup>2</sup>。

因此热水管网的初投资  $C_{\text{网}}$  可用下式计算:

$$C_{\text{网}} = \sum_{i=1}^n (a + bd_i) l_i \quad (3)$$

式中  $l_i$  为各管道的长度,m。

#### 3) 热力站投资

热力站的初投资主要与对数换热温差和供热面积有关,可以通过投资估算指标得到。

#### 4) 散热末端投资

室内散热末端的初投资主要与散热末端形式(散热器或地板供暖形式)、散热器形式、散热器平均温度、室内温度、散热器面积有关。在参考工况下,散热器的造价按 0.3 元/W 选取。在其他设计工况下散热器的面积将会按照一定的比例增加,可以将所需的散热器面积折算成参考工况的面积比例计算。

#### 2.2.2 供热系统年运行费

集中供热系统的年运行费  $S$  主要包括系统的燃料费用、热网循环泵耗电费用、补水泵耗电费用和耗水费用。

$$S = S_f + S_{1p} + S_{2p} + S_{1b} + S_{2b} \quad (4)$$

式中  $S_f$  为供热系统消耗的燃料费用,万元/a; $S_{1p}, S_{2p}$  分别为一次网和二次网的循环泵耗电费用,万元/a; $S_{1b}, S_{2b}$  分别为一次网和二次网的补水泵耗电和耗水费用,万元/a。一次网循环泵的耗电费用与一次网补水泵的耗电费用和耗水费用称为一次网费用,二次网循环泵的耗电费用与二次网补水泵的耗电费用和耗水费用称为二次网费用。

循环水泵的耗电费用  $S_p$  计算公式为

$$S_p = \frac{G \Delta p}{3\ 600\ 000 \eta} N C_{\text{电}} \quad (5)$$

式中  $G$  为系统总流量,t/h; $\Delta p$  为循环水泵压头,

$P_a$ ;  $\eta$  为水泵效率;  $N$  为水泵运行时间,  $h$ ;  $C_{电}$  为电价, 元/( $kW \cdot h$ )。

### 2.2.3 供热系统年总费用

供热系统每年的折旧费用  $S_{折旧费} = C_{总}/T$ , 其中  $T$  为折旧年限, 本文中取 20 a。因此供热系统的年总费用  $S_{总}$  为

$$S_{总} = S_f + S_{1p} + S_{2p} + S_{1b} + S_{2b} + S_{折旧费} \quad (6)$$

## 2.3 集中供热系统工况设定与基价选取

表 4 集中供热系统对比工况设定参数

二次网温差/ $^{\circ}C$	热网	对比工况供回水温度/ $^{\circ}C$				
25	二次网	85/60	75/50	65/40	55/30	45/20
	一次网	130/70	130/60	130/50	130/40	130/30
20	二次网	80/60	70/50	60/40	50/30	40/20
	一次网	130/70	130/60	130/50	130/40	130/30
15	二次网	75/60	65/50	55/40	45/30	35/20
	一次网	130/70	130/60	130/50	130/40	130/30
10	二次网	70/60	60/50	50/40	40/30	30/20
	一次网	130/70	130/60	130/50	130/40	130/30

## 2.4 二次网供暖参数对燃煤锅炉集中供热系统经济性的影响

### 2.4.1 燃煤锅炉集中供热系统形式

燃煤锅炉集中供热系统示意图如图 1 所示, 系统由作为热源的燃煤锅炉、一次网、板式换热机组、二次网和用户散热末端构成, 图中  $t_{1g}$ ,  $t_{1h}$ ,  $t_{2g}$ ,  $t_{2h}$  分别为一次网和二次网的供、回水温度。

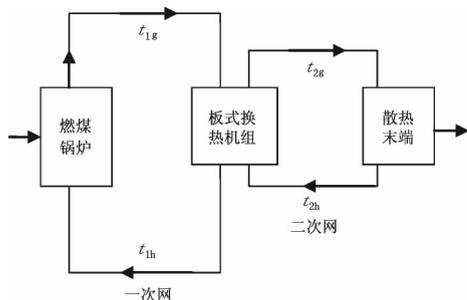


图 1 燃煤锅炉集中供热系统示意图

### 2.4.2 对燃煤锅炉集中供热系统经济性的影响

#### 1) 对采用散热器的集中供热系统经济性的影响

分析结果如图 2~5 所示。由图 2, 3 可知, 当二次网温差  $\Delta t$  为  $25^{\circ}C$  时, 随着二次网供回水温度降低, 不考虑系统折旧费用时, 供热系统的年总费用降低, 但是供热系统的初投资逐渐升高。考虑系统折旧费用后 (20 a 折旧期), 当二次网设计温度为  $75^{\circ}C/50^{\circ}C$  时, 供热系统的年总费用最低。

供热管网、热力站、散热器的投资估算指标参照市政工程投资估算指标<sup>[3]</sup>选取。一次网和二次网的电价按照商业电价选取, 为 0.762 5 元/( $kW \cdot h$ ); 补水比例取 2%, 水价为 5.0 元/t; 煤炭价格按 600 元/t 计算。

集中供热系统的参考工况二次网参数取  $95^{\circ}C/70^{\circ}C$ , 一次网参数取  $130^{\circ}C/80^{\circ}C$ , 对比工况如表 4 所示。

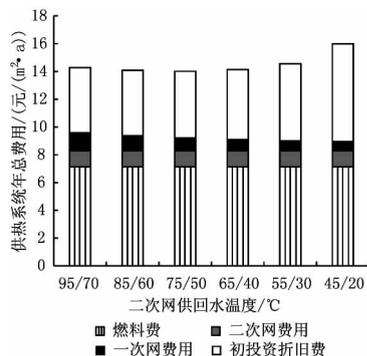


图 2 二次网温度对系统年总费用的影响 ( $\Delta t = 25^{\circ}C$ )

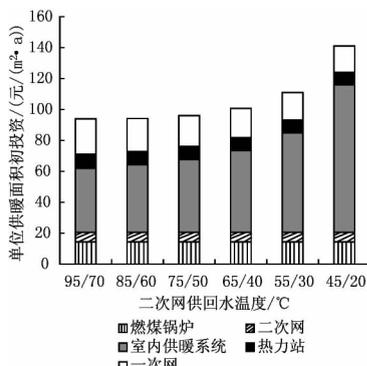


图 3 二次网温度对系统各环节初投资的影响 ( $\Delta t = 25^{\circ}C$ )

随着二次网温差的减小, 二次网的运行费大幅增加, 供热系统在二次网设计温差最大时年总费用最低。当二次网设计温差为  $20^{\circ}C$  时, 二次网设计温度  $70^{\circ}C/50^{\circ}C$  对应的供热系统年总费用最低。

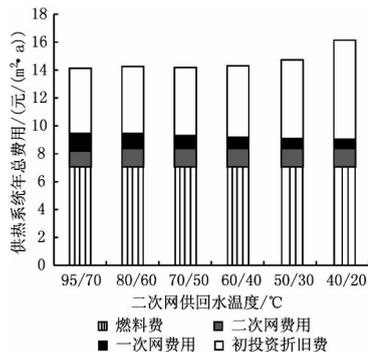


图4 二次网温度对系统年总费用的影响 ( $\Delta t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ )

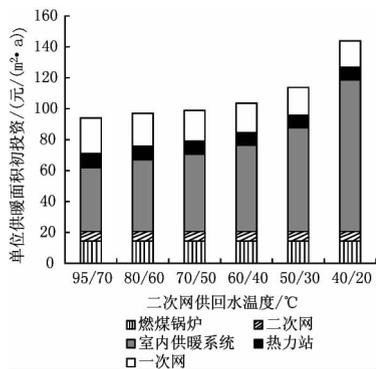


图5 二次网温度对系统各环节初投资的影响 ( $\Delta t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ )

(见图4)。因此二次网设计温差不应过小(应大于 $20\text{ }^\circ\text{C}$ )。

### 2) 对采用地板供暖的集中供热系统经济性的影响

如果采用常规地板供暖末端形式,通常地板供暖的设计温差为 $10\text{ }^\circ\text{C}$ ,考虑到降低二次网的输送能耗,二次网仍然采用 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 温差供暖,但是在地板供暖末端需要通过混水装置满足地板供暖的设计温度要求。地板供暖集中供热系统的初投资和年总费用分析结果见图6,7。

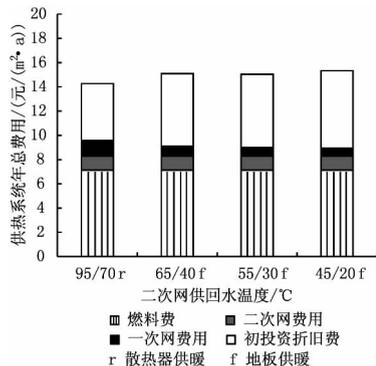


图6 二次网温度对系统年总费用的影响 ( $\Delta t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,地板供暖末端混水后温差为 $10\text{ }^\circ\text{C}$ )

如果采用供暖地板作为散热末端,则会增加供

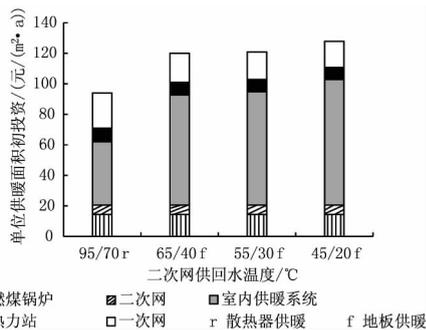


图7 二次网温度对系统各部分初投资的影响 ( $\Delta t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,地板供暖末端混水后温差为 $10\text{ }^\circ\text{C}$ )

热系统的初投资,但是由于二次网的设计参数降低,可以使一次网回水温度降低,从而降低一次网的初投资和运行费。

对于地板供暖系统,随着二次网温度的降低,地板供暖末端的初投资增加,一次网的初投资和运行费降低,因此存在一个合理的二次网供水温度,使得整个集中供热系统的年总费用最低。通过比较分析可知,适合地板供暖系统的二次网设计参数为 $55\text{ }^\circ\text{C}/30\text{ }^\circ\text{C}$ 。而采用散热器供暖的集中供热系统的二次网优化参数为 $75\text{ }^\circ\text{C}/50\text{ }^\circ\text{C}$ 。可见,相对于采用散热器的集中供热系统,采用地板供暖后,集中供热系统的二次网参数可以降低。但是集中供热系统的初投资会显著增加。

### 3 结论

3.1 采用热水作为热媒,不仅供暖质量有明显提高,而且便于调节。因此,明确规定散热器供暖系统应采用热水作为热媒。

3.2 以前的室内供暖系统基本是按 $95\text{ }^\circ\text{C}/70\text{ }^\circ\text{C}$ 热媒参数进行设计的。对于 $95\text{ }^\circ\text{C}/70\text{ }^\circ\text{C}$ 的二次网供暖设计参数,在当前的设备估算基价和燃料、电价下得出的供热系统,其经济性不再是最优的。

3.3 散热器集中供暖系统宜按热媒温度为 $75\text{ }^\circ\text{C}/50\text{ }^\circ\text{C}$ 或 $85\text{ }^\circ\text{C}/60\text{ }^\circ\text{C}$ 连续供暖设计。目前,国内也开始提倡低温连续供热,近些年也出现了降低热媒温度的趋势。实际运行系统的调研结果表明,合理降低建筑物内供暖系统的热媒参数,有利于提高散热器供暖的舒适度和节能降耗。对采用散热器的集中供暖系统,当二次网设计参数取 $75\text{ }^\circ\text{C}/50\text{ }^\circ\text{C}$ 时年总费用最低;其次是取 $85\text{ }^\circ\text{C}/60\text{ }^\circ\text{C}$ 时。

（上接第 37 页）

3.4 对于采用不同设备形式的集中供热系统,宜推荐不同的二次网供暖设计温度参数。

3.5 目前,欧洲很多国家正朝着降低供暖系统热媒温度的方向发展,开始采用 60℃ 以下低温热水供暖,这也值得我国参考。

**参考文献:**

- [1] Skagestad B, Mildenstein P. District heating and cooling connection handbook [M]. International Energy Agency, 2003
- [2] 俞敖元,郭占庚,赵刚. 我国采暖散热器的发展和市场前景[J]. 中国建筑金属结构, 2007(7): 28-35
- [3] 建设部标准定额研究所. 市政工程投资估算指标第八册 集中供热热力网工程[M]. 北京: 中国计划出版社, 2007