



我国供热节能中的问题和解决途径

清华大学 江 亿[☆]

摘要 分析了我国集中供热系统热利用效率低,运行能耗高的主要原因,并讨论了目前分户计量、按热量收费改革的问题。认为根据目前居住特点,这种热改方式不适合在我国推广。应采取按楼计量、楼内按面积分摊的方式。这可以激励围护结构的保温改造,并在技术上和经济上都可行。为了解决由于系统设计不当和调节不当导致局部过热造成的热损失问题,提出在楼的热入口采用换热或混水,在楼内实行“大流量、小温差、低水温”的供热方式,使每栋楼可在不同的入口水温下运行,以有效减少由于散热器面积不匹配、建筑内局部热源、系统流量不均等原因造成的局部过热现象,提高集中供热系统的热利用效率。

关键词 集中供热 分户计量 供热改革

Problems in improvement of central heating systems in China and possible solutions

By Jiang Yi[★]

Abstract Analyses the main reasons for lower heating efficiency and over high operating energy consumption in the central heating systems and discusses current heating reform turning unit building area based charging system into household heat metering and charging. Considers that it may not suitable for Chinese living situations. It should be taken to measure the heat on every building heat entrance and allocate the cost to each household according to its building area. This fashion can prompt envelop thermal insulation improvement, and be possible in technological and economical aspects. In order to solve the unbalance problem and increase the system efficiency of central heating, proposes installing mixing pumps or heat exchangers at the heat entrance of each building. “Large circulation flow rate with small temperature difference and low supply temperature” can be used to operate in the building internal system and “small circulation flow rate with large temperature difference” can then be used in the central heating network outside buildings, so that solve the unbalance problem in central heating systems caused by poor matched radiators, existence of indoor heat source and uneven circulation flow rate, and increase system efficiency much more.

Keywords central heating, household heat metering, heating reform

★ Tsinghua University, Beijing, China

①

1 供热系统节能的重要性

目前我国北方城镇共有供暖建筑 65 亿 m^2 ,其中约 70% 采用不同类型的集中供暖。根据目前初步统计,城镇建筑供暖用能折合标准煤 1.3 亿 t/a , 占我国总的城镇建筑用能的 52%, 因此是建筑用能的最主要部分。与发达国家相比,我国城镇建筑

单位面积供暖能耗是同纬度国家的 2~3 倍,而建

①[☆] 江亿,男,1952 年 10 月生,博士,教授,博士生导师,中国工程院院士

100084 清华大学建筑学院建筑技术科学系

(010) 62786871

E-mail: jiangyi@tsinghua.edu.cn

收稿日期:2006-01-26

筑除供暖外的其他用能(照明、空调、家电、建筑设备等)按照单位面积比较,却仅为发达国家的 $1/5 \sim 1/2$ 。因此供暖节能应是我国建筑节能工作中潜力最大、最主要的途径,应该作为当前开展建筑节能工作的重点。

供暖能耗偏高的主要原因为:

1) 建筑保温不良。我国北方地区建筑外墙传热系数在 $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 左右,外窗传热系数在 $4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 左右,与北欧国家的外墙 $0.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、外窗 $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 相比,相差 $1 \sim 2$ 倍。这直接导致供暖负荷高出 $1 \sim 2$ 倍。降低供暖能耗必须大幅度改善建筑保温,降低建筑物本身的耗热量。

2) 集中供热系统冷热不均,部分过热,导致热量损失。我国大部分集中供热系统的建筑物内采用单管串联方式或改进的单管串联方式,基本不具备末端调节手段。由于同一供热系统内的建筑物各房间的散热器面积与房间的热负荷之比并不完全一致;实际流量与设计流量不完全一致;流量与供水温度不能准确地随气候变化而改变;以及建筑物内部区域由于太阳得热及其他热源造成局部过热等原因,系统普遍存在不同建筑间的区域失调,建筑物内的水平失调,以及不同楼层间的垂直失调。根据模拟分析计算^[1],当满足最冷房间温度不低于 16°C 要求时,由于部分区域的过热导致的多供出的热量为总供热量的 $20\% \sim 30\%$ 。

3) 集中供热系统总的供热参数不能随气候变化及时调整,造成供热初期和末期气候转暖时过度供热,造成热损失。这部分损失根据运行调节水平和系统规模不同,一般为总供热量的 $3\% \sim 5\%$ 。

4) 部分锅炉房效率太低,部分外网保温不当,造成热损失。

因此降低我国建筑供暖能耗的关键,就是改善建筑围护结构的保温以降低建筑物供暖耗热量;改善集中供热系统的调节,以避免各种局部过热造成的热损失。

2 供热改革的由来与存在的问题

制约实现上述改进措施的障碍是目前集中供热系统的按面积计量收费方式。不论保温好坏,供热量高低,每 m^2 的收费相同,并且都要保证室温不得低于 16°C 。这一方式使建房者在建筑保温与其他节能措施上的投资得不到任何回报;使居住者

在房间过热时,开窗通风降温,不顾及热量的损失;即便装有恒温阀等末端调节手段实际也很难全面应用。因此近 10 年来各方面专家和各级政府的主管部门都认为集中供热改革的关键是计量收费制度的改革,提出要改按面积收费为分户计量热量,按热量收费。

尽管各级政府投入大量资源进行热改,但至今还没有出现任何真正的大规模计量收费改革的成功案例。究其原因,除涉及的社会问题、体制问题 and 经济问题外,在技术上陆续暴露出如下问题。

1) 我国居民的主要居住方式是大规模公寓式建筑,而不是像发达国家的单体别墅。公寓式住宅每户与周边 $3 \sim 5$ 户相邻。采用分户计量,当邻室无人居住散热器关断时,采暖户的耗热量就会大幅度增加。极端情况下,当相邻 5 户都停止供暖时,采暖户的供暖耗热量有可能增加到接近 3 倍^[2]。这样一方面需要大幅度增加散热器的安装量,以保证采暖户在这种情况下仍能达到供暖要求;另一方面户间隔墙和楼板要采取保温措施,以减少户间传热^[2]。这样,为了节能而推广的分户计量收费方式的结果是导致室内散热器安装量的增加和户间隔墙与楼板的保温。而在正常使用的状况下,这些增加了保温的内墙与楼板两侧的温度应该是相同的,保温不起任何作用。如果这些保温材料安装在外墙,将会显著降低整栋建筑的热耗,真正起到节能作用。

2) 板式建筑的端部、各类建筑的顶层,都比其他部位外墙面积大,供暖热耗大。从公平原则出发,近年来陆续有学者提出要给这些部位住户量出的热量加修正系数,剩下的热费由其他住户分摊。进一步,考虑到供热系统的运行维护和其他原因,有学者提出综合热价方式,即实际热价由按照计量得出的热费与按照面积计算的热费两部分构成。这两部分的权重分配则成为目前计量收费改革的重要研究内容。而实际上,当修正系数过大、面积收费部分的权重过大时,收费改革就很难再起到其本来的作用。我们花了很大的代价建立的复杂的收费制度如果不能起到促进供暖节能的目的,岂不是徒劳?

3) 出现了计算散热器表面温度累计值的蒸发式热表方式和测量室温根据室温累计值收费的室温表方式。前一种方式给出的热量接近实际值,因

此也不能解决前述邻室传热问题;而后一种方式对于保温建筑得不到鼓励,对于开窗通风散热的房间由于室温降低反而可减少收费,因此也不符合计量收费改革的初衷。

针对现状,不得不质疑现有分户计量收费做法的思路。如果为了促进建筑保温、改善供热系统调节,为什么不能对整栋建筑的总热量进行计量,再按照面积由各住户进行分摊?整栋建筑计量出的供热量正好可以反映该建筑的保温水平,这样做完全可以促进建筑保温的发展,并避免邻室传热、内墙保温、散热器过度安装等问题。

分户计量的另一个目的是促进行为节能。所谓行为节能,一是指房间发生过热时不开窗散热,而是调节末端装置,从而减少由于末端冷热不均所浪费的热量;二是指房间无人使用时,关闭散热器或调低房间温度,以减少通过围护结构的散热。分析表明,与目前的实际供热状况相比,前者可使供暖耗热量降低 20%~30%,而后者取决于房间的实际使用状况。不考虑长期无人居住的情况,计算分析表明,如果每天有 10 h 无人居住,把室温降低至 10℃,而其他时间维持在 18℃,则与连续供暖相比,节省的供热量不超过 7%^[3]。这是由于建筑物存在的巨大的热惯性所致。散热器停止使用后,房间温度很难迅速降低,从而使房间继续向外界散热;而重新开启散热器后,需要增大供热量才能使围护结构预热升温。然而为了这部分尚不能确定的节能,却要采取增加散热器面积、增加内墙、楼板保温等等一系列不适宜的措施,同时居住者进入房间后,由于房间温度不能迅速提高,舒适性也不能完全得到保证。因此,对于我国这种多户相联的整体式公寓的居住形式,不一定提倡房间无人时降温,而是否应继续实行连续供暖?

按照这一思路,集中供热的改革可以在每栋建筑的热入口处进行热量计量,并以此作为该建筑物的供暖收费依据;同时,寻找技术上的创新方式,解决系统运行调节问题,避免局部过热的现象,使建筑保温后供暖的用热量真正降下来。

3 避免供暖局部过热的新思路

目前我国大量应用的单管串联式末端方式出现局部过热现象有如下原因。

1) 供水温度过高。这时的表现形式是所有的顶层房间和部分其他房间都过热,此时需要调节供

水温度。改变各栋建筑的循环水流量,不可能降低顶层房间的室温。

2) 部分房间散热器面积过大,超过设计计算要求的散热面积。这使得这部分房间过热,甚至导致与其相联的下游房间由于供水温度低而偏冷。由于设计参数、房间结构的不确定性及散热器散热性能的不连续性,这种散热器面积过大的现象是不可避免的,只能通过更好的系统形式和调节手段来改善,而不能寄希望于更准确的设计和施工。

3) 某根立管或某栋建筑水流量过大。这时就使整个立管的上游散热器温降减小,从而使下游散热器进口水温升高,房间过热,即底层房间偏热严重,而顶层房间偏热不多。这种下游偏热的现象可以通过调节各栋楼间及各立管间的流量分配来减少和消除。

4) 部分房间其他的热量来源,例如东向房间上午的太阳辐射,或室内人员、设备过多,都会造成过热。这种原因也可能短期内导致一些房间温升高达 5℃以上。对于单管串联系统,很难通过调节避免这种现象。

上述分析表明,调整各建筑各立管间的流量分配,仅能解决上述第 3) 条即流量失调造成的热量损失,而对其他原因导致局部偏热造成的热损失无效。也就是说,通过在各个建筑的热入口安装平衡阀或其他流量调节装置,不能从根本上解决建筑物内局部过热导致的热损失问题。

如果能分别调节每栋建筑的入口水温,加大建筑物内的循环流量,降低供水温度,减小供回水温差,就可以有效解决上述各种原因造成的局部过热问题。

为了便于分析理解,忽略房间热惯性的影响,仅考虑房间处于热稳态下的状况。此时房间温度 t_a 为

$$t_a = \frac{KF_{en}t_o + KF_h t_h + Q_o}{KF_{en} + KF_h} = \frac{t_o + \frac{KF_h}{KF_{en}} t_h + \frac{Q_o}{KF_{en}}}{1 + \frac{KF_h}{KF_{en}}} \quad (1)$$

式中 KF_{en} 为围护结构的综合传热系数; KF_h 为散热器的传热系数; Q_o 为进入房间的其他热量; t_o, t_h 分别为室外温度和散热器内热水温度。

从式(1)中可看出,由于进入室内的其他热量

Q_o 造成的室温温升 Δt_Q 为

$$\Delta t_Q = \frac{\frac{Q_o}{KF_{en}}}{1 + \frac{KF_h}{KF_{en}}}$$

又有

$$\frac{\Delta t_Q KF_{en}}{Q_o} = \frac{1}{1 + \frac{KF_h}{KF_{en}}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\epsilon}} \quad (2)$$

$$\text{近似有 } \epsilon = \frac{t_h - t_a}{t_a - t_o}$$

式(2)表明,散热器平均温度越低,散热器的传热系数越大, Q_o 产生的温升越小。当热水平均温度为 70°C , 室温和外温分别为 20°C 和 -10°C 时, $\Delta t_Q KF_{en}/Q_o$ 为 $5/8$; 而当热水平均温度为 35°C , 散热面积加大一倍时, $\Delta t_Q KF_{en}/Q_o$ 为 $1/3$, 温升仅为原来的 53% 。

同样可以得到当散热器面积比设计要求偏大 k 倍导致的温升 Δt_{KF} , 为

$$\begin{aligned} \Delta t_{KF} &= (t_h - t_o) \left(\frac{\frac{KF_h}{KF_{en}} k}{1 + \frac{KF_h}{KF_{en}} k} - \frac{\frac{KF_h}{KF_{en}}}{1 + \frac{KF_h}{KF_{en}}} \right) \\ &= (t_h - t_o) \left(\frac{\frac{t_a - t_o}{t_h - t_a} k}{1 + \frac{t_a - t_o}{t_h - t_a} k} - \frac{\frac{t_a - t_o}{t_h - t_a}}{1 + \frac{t_a - t_o}{t_h - t_a}} \right) \quad (3) \end{aligned}$$

由式(3)可知,当热水平均温度为 70°C 、外温为 -10°C 时,散热器面积加大 20% 将导致房间温度升高 3.5°C ; 而当热水平均温度为 35°C 时,散热器面积同样增大 20% (实际上面积的绝对增加量为前者的 3.3 倍), 房间温度仅升高 1.8°C 。

同样可以得到循环水流量增大导致的室温升高 Δt_G 在大流量、小温差的设计工况下远比小流量、大温差时小。

这样,为减小上述各种局部过热现象需要采取的方法是:

- 1) 单独调节每栋楼入口的供水温度;
- 2) 增大楼内循环水流量,实行大流量、小温差运行;
- 3) 降低热水温度,增强散热器换热能力。

可能采取的措施是:

1) 每栋建筑的热入口增加换热器,楼内管网与外网间接连接,楼内实行大流量、小温差、低水温运行,并加大末端换热面积。系统方式如图 1 所

示。

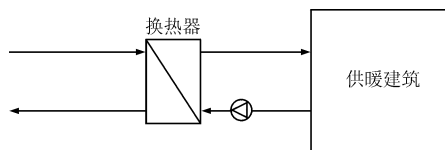


图 1 采用换热器间接连接方式的建筑热入口调控方案

2) 每栋建筑的热入口安装混水泵,通过调节混水比来调节楼内供水温度,楼内实行大流量、小温差、低水温方式运行,并加大末端换热面积。系统方式如图 2 所示。

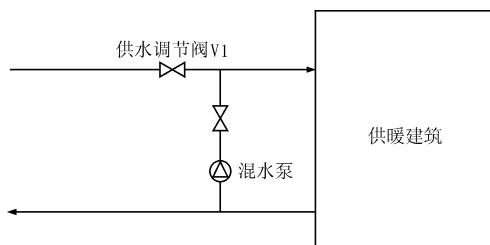


图 2 采用混水调节方式的建筑热入口方式

采用换热器间接连接方式,可以通过调节热源侧流量来调节二次侧供水温度,加大楼内循环水流量也不会影响外网水力工况,楼内系统对外网影响很小。但这种方式投资高,同时还要考虑二次侧的补水和定压(可以使换热器两侧短路,由一次网对楼内管网定压)。而采用图 2 的混水方式,也可以有效调节楼内供水温度,同时实现楼内的大流量、小温差和低水温;只是当外网资用压力不足时,不能过大地增加楼内循环流量。

以下着重讨论图 2 的混水方式。对于新建筑,可以采用大换热面积的末端方式,例如地板供暖方式、风机盘管方式,或简单地加大供暖散热器面积。取楼内供水温度为 $35\sim 45^\circ\text{C}$, 仍采取单管串联方式,但仅取 $5\sim 8^\circ\text{C}$ 温差,这样回水温度在 $30\sim 37^\circ\text{C}$ 之间。如果外网供水温度 60°C , 则当楼内供水温度 40°C , 回水温度 35°C 时,混水比约为 $1:3$ (即 1 份外网热水, 3 份回水混合) 时,楼内循环水流量较大,混水泵需要一定的耗电量,但外网温差加大,流量可大幅度减小,在外网实现小流量大温差方式运行,从而减少室外管网水泵的电耗。调节图 2 中供水调节阀 V1, 可以调节混水比,从而改变供水温度;调节混水泵转速,则可调节楼内总的循环量。利用这种方式可以有效地减少或消除上述四类局部过热现象,使由于局部过热造成的热损失由

20%~30%降低到 7%~10%。

对于既有建筑,如果不能对室内的散热器进行更换,以增加换热能力,则不能把供水温度降得太低,但可以通过混水适当地调节供水温度,增加循环水流量。目前普遍的问题是单管串联系统的上游房间(顶层)过热。降低供水温度,加大循环流量,既可减少顶层过热,又不会降低底层的供热水平。当然,如果能够因地制宜,适当地增加散热器面积,则可以获得更好的改造效果。

采用这种方式,可以大幅度改善室内局部热源,避免由于部分散热器面积过大,以及部分支路流量过大造成的局部过热现象;大幅度改善建筑物内各处温度的不均匀,从而有效减少这部分损失。同时,由于每栋建筑的供水温度分别可调,可以减少由于锅炉房调节不当造成的过热现象以及由于同一小区内不同建筑间供暖系统设计参数不同造成的冷热不均现象。尤其是对于同一热网的小区内部分建筑实现了保温节能改造,而部分建筑仍是保温不良建筑的情况,可以使节能建筑与不节能建筑实现不同的供水温度,彻底避免了目前的“保温建筑供暖并不节能”的现象。

实际上这种末端混水的方式在国内早已有成功应用的工程案例。1993 年抚顺新华小区热网在各个供热热力站实行混水方式,使热力站以下按大流量、小温差,而一次网则按小流量、大温差运行,供热效果很好。黑龙江省北安市、河北省沧州市也分别采用末端混水方式,解决其热网主干管流量不足的问题,同样效果很好。近年来哈尔滨的一些建筑采用地板供暖,为了降低地板供暖的供水温度同时又不改变小区供水温度,这些建筑就采用了建筑

内局部系统的混水方式,也取得了成功。因此这一做法在工程上并不是全新的尝试。

对于一座 3 000 m² 的建筑,采用这种方式,楼内的循环水量约为 20 t/h,扬程 5 m,水泵功率不超过 1 kW。目前这样的变频水泵可以长期无故障连续运行,包括变频器和简单的控制器,投资在 7 000 元内,包括热入口的热表,改造费用为 3 元/m²,大大低于分户计量改造所要求的投资,但其可操作性远优于分户计量改造,节能效果也不比分户计量和分户加装恒温阀差。

4 结论

本文针对目前集中供热计量收费改革面临的困难,提出分楼计量、楼内按面积分摊的方案,并针对目前集中供热由于各种失调造成的局部过热导致的热损失进行了具体分析,给出采用单栋建筑热入口处换热或混水调节的方式,在楼内实行大流量、小温差低温供热,在楼外管网实行小流量、大温差。在目前的技术经济和管理条件下,这可能是解决我国集中供热系统能源利用率低下的一种有效的和可行的方式。目前笔者正在一些实际工程中采用这种方式进行实验,摸索经验,并在实践中发现新的问题,不断寻找新的解决措施。希望这一方案能为我国集中供热事业的发展提供一条新的思路。

参考文献

- [1] 张晓亮. 单管串联采暖系统不均匀损失模拟分析[D]. 北京:清华大学,2002
- [2] 房家声. 分户供暖系统对邻户墙及楼板的热工要求[J]. 暖通空调,2002,32(1)
- [3] 李兆坚,江亿,燕达. 住宅间歇供暖模拟分析[J]. 暖通空调,2004,34(8)

· 征订 ·

《建筑科学与工程学报》

《建筑科学与工程学报》是由国家新闻出版总署批准、教育部主管、长安大学主办的学术性期刊。主要刊载建筑学、结构工程、地下建筑与基础工程、建筑环境与设备工程等专业及相关领域的论文,包括科研、设计、施工方面的研究成果与工程实践总结,同时也刊登建筑材料、桥梁工程、市政工程、防灾减灾、力学等专业中与上述学科交叉的论文,并就一些热点和难点问题,开设“专家论坛”和“院士讲座”栏目。主要读者对象为建筑学与土木工程技术领域的科研人员、工程技术人员和大专院校师生。

《建筑科学与工程学报》为季刊,大 16 开本,96 页,欢

迎国内外读者订阅。订阅时可直接汇款至《建筑科学与工程学报》编辑部,每期定价:10.00 元,全年定价:40.00 元。

开户行:中行西安翠华路支行

账号:0104134—34148598091001

账户:长安大学杂志社

联系人:任晶钰

地址:西安市长安中路 161 号长安大学小寨校区《建筑科学与工程学报》编辑部

邮编:710061

E-mail: jzxb@chd.edu.cn

电话:(029)82337253