

# Research on the Lagging Characteristics of Urban Centralized Heating Network Regulation

Kang Tang

Tianjin Thermal Power Co., Ltd., Tianjin, 300161, China

## Abstract

In the transmission process of the first-level pipe network of the town center heating system, due to the long path, complex structure and wide coverage, it often leads to the delay of the heat source end when adjusting the load of the user end. In order to achieve real-time and accurate on-demand heating effect, this study constructed a simulation system that simulates the delay characteristics of the primary pipe network, conducts an in-depth analysis of the adjustment delay characteristics of various heat users, and establishes the model combined with historical data, and further discusses the adjustment delay characteristics in the actual heating process. After comparing the theoretical and actual heating conditions, this study found that the distance of the heat exchange station and the transformation of different stages of the heating season have different levels of influence on the delay time of temperature regulation, and the adjustment delay characteristics of the terminal pipe network and the late heating season are particularly significant.

## Keywords

urban central heating; heating pipe network; regulation; lag characteristics

## 城市集中供热管网调控滞后特性的研究

唐康

天津市热电有限公司, 中国·天津 300161

## 摘要

城镇中心供热系统的一级管网在传输过程中, 因其路径冗长、结构繁杂以及覆盖范围广泛, 常常导致热源端在调整用户端负荷时出现延迟现象。为了达到即时的、精确的按需供暖效果, 本研究构建了一个模拟一级管网延迟特性的仿真系统, 对各类热用户的调节延迟特性进行了深入分析, 并结合历史数据完成了模型的建立, 进一步探讨了实际供暖过程中的调节延迟特征。经过对比理论与实际的供暖状况, 本研究发现换热站的距离和供暖季节不同阶段的变换对温度调节的延迟时间产生不同级别的影响, 而末端管网和供暖季晚期所表现出的调节延迟特征尤为显著。

## 关键词

城市集中供热; 供热管网; 调控; 滞后特性

## 1 引言

众多现代化都市的供暖系统构成繁杂, 服务范围广泛, 而陈旧的供暖调节机制已显不足以应对供暖需求的变化。在这样的背景下, 管道网络的调节变得尤为关键。目前, 我国多数先进城市已经逐步从依靠人工经验调节和手动操作老旧管网转变为采用智能化调节和动态精确供暖的匹配方式。城市集中供暖系统的一级管网管道延伸距离遥远, 其响应特性不容忽视, 调节时往往存在延迟。因此, 在热源端常常采取与用户端紧密结合的调节策略, 以实现热负荷端的精确供暖。为了确保每小时乃至每分钟能源的供应与需求能够合理对接, 需要对管网不同位置的响应时长进行精确评估, 并分析调节过程中的动态响应。考虑到这些因素, 论文以某实际大型供

暖管网为对象, 研究了其温度调节的时滞特性, 并结合理论模型与数据分析方法, 对城市大型供暖系统一级管网的延迟特性进行了深入探讨, 旨在实现供暖过程中供需双方的动态响应精确匹配, 为减少整个系统的能源消耗提供理论依据。

## 2 案例分析

选择中国一家规模较大的中央供暖系统为研究对象, 其主管道总长 312km, 最遥远的热源可达 10km, 供暖区域 1672.5 万 m<sup>2</sup>, 已投入运行的换热站 429 个。本工程共设两个热源, 在运营期内, 其设计采暖负荷为 219MW 和 160MW。通过选择包括一次管网前、中、后端各个部位的代表性热力站, 并且经过证明具有完全精确的历史资料, 可以反映管网中各个部位的供暖状况。城市集中供暖网络的热源点位于城市热力网的东北侧, 且南北、东西两个区域的距离较远, 且各个区域的时间滞后程度也不同。针对这一复合供暖网络进行了数值模拟, 并对其进行了时间滞后问题的研究。

【作者简介】唐康 (1993-), 男, 中国江苏南京人, 本科, 工程师, 从事城镇集中供热、智慧供热、精准供热研究。

本项目以此供暖网络为研究对象，以其供暖网络为研究对象，以其为对象，构建热力系统调节系统，并在此基础上发布控制命令。系统包括：指令下发层，信息传输层，数据采集层；要求反应层次分为四个层次，分别按照终端的热负载要求向上级下达命令，并对终端供暖品质进行实时监控，并基于外部温度的变化对其进行预测；根据各个采暖季节的采暖特性，对各个采暖季节的采暖季节进行调节，以达到对各个采暖季节内各个采暖终端的供水水温进行调节，以达到最大限度地满足采暖需要。

### 3 一级管网滞后特性分析

#### 3.1 一级管网温度调控滞后特性分析

从热源侧发出命令到用户应答，是通过一次网络中的传热、一次、二次侧的换热和二次供水系统的热传输两个环节构成的。目前，供热系统中各个供热系统的控制命令多是通过调整次级网络的温度来实现，但其降温的进程具有一定的滞后，其原因是一次网络中液体的运动规律以及供热系统一侧一、二次网络之间的热量交换，其中延时相对较少。在此基础上，将次级网络的调控温度与次级网络的温控响应时刻相关联，得到供水系统从水源端到用户端的延迟时间，进而研究一次网络的迟滞特征。

在此基础上，建立了一次供水系统的数学模型，并在此基础上，对2022—2023年供暖系统的供暖状况进行了研究。针对中国目前供暖网络覆盖面积大、管线间距大、热力客户多等特点，将其划分为前、中、后三部分，选择前网为距离3000~5000m范围内的热网，中端管网为供热管线距离在5000~8000m范围内的换热站集合，末端管网为供热管线距离超过8000m范围内的换热站集合。利用机械建模方法，求出各供热站在各供热站之间的时滞，从而反映出各供热站在各供热站之间的调节反应速度。模拟模式的基本调整过程是：根据二次网络的需要用热来设置各热力站的二次水的水温，再由热源方发出的温度命令，对每个热力站的用水温度进行相应的调整；如果需要大量的全局调整（例如：温度急剧改变等），就需要对整个管网进行温度调整。

在此基础上，给出了集中供暖网络前侧换热器温控滞后的仿真结果。基于仿真结果，在调节命令发出1~2h之内，网络末端的换热站就能实现对热力站次级网络的加热温度的调节。在此基础上，给出了中间末端热交换站温控滞后的仿真结果。调节后的反应时间约为2h，与控制前级管网的滞后反应差不多。

最后给出了供暖网络末端换热器温控延时的仿真实例。结果表明，供热管网前、中、后三个末端供热管网的滞后值相差不大，均为3h左右，且在理想工况下，其升温速率更快，反应更迅速。

然而，相同供热客户的调节滞后在整个采暖期内是没有发生变化的，并且气温波动的幅度对最后的延迟时间没有

任何影响。在理想供暖条件下，热量传递的过程中，热量的转化速率很大，而流量对调节迟滞的作用最大，所以，在调节时滞中，液体的流量占了很大比例；调节温度差的幅度对滞后时间没有明显的作用。

#### 3.2 一级管网温度调控滞后特性

论文首先根据某城区一期供暖网络的历史资料，对其各个部位的热量进行了统计和统计。在采暖期五日之内，供暖网络前端的二次网供暖温度随时间的变化情况如图1所示。从图1可以看出，在5个调节过程中，头三个调节过程中，因为气温波动比较大，很难确定调节的详细延迟，3个42℃的调节命令下达之后，气温才彻底趋于平稳，平均用了3h。并且，此供暖客户的实际气温与调节命令中所要求的气温并不能很好地匹配，这一地区的供暖系统受到其他因素的影响。在此基础上，选择了集中供暖网络中处于中间位置的换热站，对其在6日内的二次网络供暖温度的变化进行了研究。虽然3个调解命令下达的时间段是均匀的，但是每个调节过程中的目标和瞬态的温差都很低，所以每个调节命令的执行都需要14h、20h、3h。这种供热方式的调整幅度几乎没有改变，所以调整时的迟滞也小。数据模型下供热管网中端换热站二级管网供热温度和调控指令对比如图2所示。

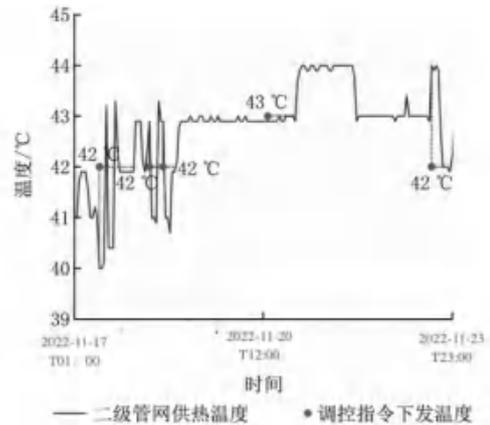


图1 数据模型下供热管网前端换热站二级管网供热温度和调控指令对比

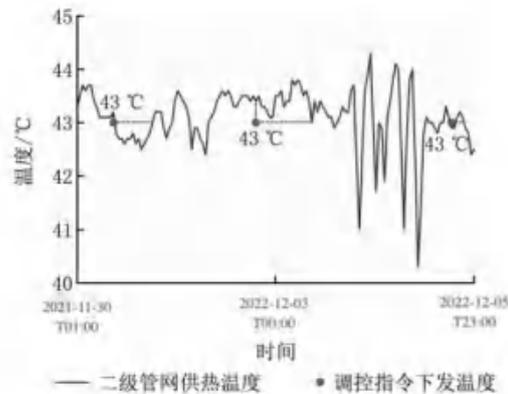


图2 数据模型下供热管网中端换热站二级管网供热温度和调控指令对比

在热力网络的定位方面，最终选取了末端供暖网络末端的二次网络供暖温度，并将其与控制命令的实际值进行比较分析。图3显示出了2022—2023年采暖季某6日二次管网采暖温度及调节命令下达的温度及时刻。在这段时间里，对二次供水系统的供暖系统进行了三个调整，一个是11月24日12:00，一个是11月25日09:00，一个是11月29日09:00。从图3中显而易见的是，当第一个温度命令发出之后，在大约30秒之后，该温度就会到达预定的目标温度，第二个温度命令是同样的，而第三个温度命令在发出之后只有4个小时的时间就会降低到一个适当的温度。我们前期研究发现，第一个调节周期比较长，第二个调节周期相对于第一个调节周期更短，所以与第一个调节的延迟时间相当；第三个调节以降温为目的，并且当网络周围的环境气温下降时，命令下达之后的反应速度会变快，降温所用的时间也会变少。

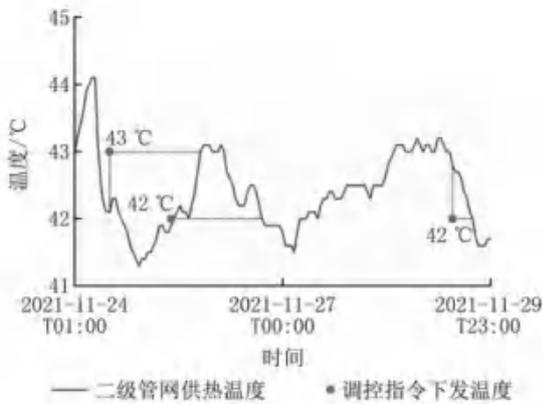


图3 数据模型下供热管网后端换热站二级管网供热温度和调控指令对比

通过对两级网络在供暖网络中各个部位的控制延迟特征进行比较和研究，得出了在控制过程中，最前方的热量调节效率更高，可以精确地对命令的温度做出反应，而末端的温度则会受到其他因素的影响。后端加热客户对变温命令的反应需要更久，最高可达到31h，控制滞后强烈。

为研究供热系统在采暖期各时段的调节效果，选择一个具有代表性的供热站点，分别在采暖前、采暖中和采暖结束三个时期调节降温的延迟特征，得到了比较的结果。通过对供暖季初期和中期的滞后程度比较小，后期有很大的滞后，最大的反应时间为31h，而后期供暖的需求量减少，使得整个供暖的温度下降，从而影响了反应速度。

结合用户资料，比较了集中供热季节，集中供热季节，集中供热季节，集中供热管网中0℃~2℃与2℃~5℃之间的热力管网，当采暖期的采暖温度是45.8℃时，发出45.0℃的调温命令，当温差改变0.8℃的时候，反应的持续时间是20h。然而，当实际供暖温度为46.3℃时，发出了42.0℃的升温命令，当温差改变4.3℃时，给出了31h的响应时间。但是这种情形下，当45.0℃的气温改变命令尚未完全执行时，就发出了42.0℃的气温改变命令，所以，这种对比基础的可

信度不高。由图1至图3可知，调节温度对迟滞的作用不具有一定的规律性，当温度差增大时，迟滞效应并不明显。所以，对调节迟滞特征的影响最大的是流通时间，也就是流速的速度。但是，与温差的幅值无关，温升的幅度对延迟的特征没有直接的影响。

### 3.3 一级管网调控滞后特性对比

通过对管道网络调节延迟的机制模型进行深入剖析，我们得出的管道网络调节延迟时长极为短暂。然而，数据分析模型所展现的调节延迟时长与理论模型预测相比，显示出一定的差异。为了融合理论推算与现实运行情况，对管道网络调节行为进行综合分析，我们对照了机制模型预测结果与数据模型得出的实际延迟时长，归纳了在一级管道网络温度调节过程中的动态反应特性、延迟时长的概略区间，以及不同供热区域换热站之间的相互作用。

在实际操作中，供热网络前端、中部和后端的换热站运行状况与理想调控情形有较大出入，温度波动显著。理想的模拟调控延迟较低，大约只需1~2h即可完成响应。但实际的供热状况较为复杂，受众多因素影响，实际的调控延迟远长于模拟预测，温度在调控指令发出后也难以保持稳定，出现了较大范围的波动。调节后的温度偏移量较大，这主要是由于网络运行的不稳定性以及调控指令温度发布与响应时间的误差所引起的，这也是实现精确实时调控所面临的关键挑战。尽管实际温度调控延迟远高于理想模拟状态，后端网络换热站的二级网络温度实际响应时间比前端和中端网络更长，与模拟情况的差异更加显著，这表明末端网络的调控方法亟须改进，以提高动态调节的稳定性和响应速度。

## 4 结语

论文对城市供热管道的延迟特性进行了深入研究，以一座特大城市具体的供热管道结构原理及数据模型为依据，对供热系统的原理模型和数据模型指导下的一级管网调节延迟情况进行了详尽分析。在理论条件下，模型推演显示：供热管道系统的前端、中部和后端换热站在接收到调控指令后，只需1~3h即可完成响应；但在实际供热过程中，由于众多额外因素的作用，响应时间延长至5~7h，特别是管道后端部分，有时甚至需要超过一天的时间来实现温度调整。论文还从时间维度出发，对同一换热站在供暖季节不同阶段的调控延迟现象进行了横向比较，结果显示，供暖季节初期和中期阶段的响应时间通常短于后期，后期的调控延迟现象更为显著。

### 参考文献

- [1] 张敏.城市集中供热管网的施工技术[J].新疆有色金属,2024,47(2):109-110.
- [2] 苏继程,毛明强.智慧供热技术在城市集中供热系统的应用分析[J].建设科技,2024(5):39-42.
- [3] 周峰.浅析城市集中供热管网施工重点、难点[J].中国设备工程,2024(4):238-240.