

Analysis of Factors Affecting the Stability and Energy Saving of Power Distributed System

Chen Danlu

Hubei University, Wuhan

Abstract: Through the summary and analysis of the factors affecting the stability and energy-saving of distributed power system, the article, finds out the common influencing factors, namely the zero pressure difference point and pump selection. The results show that when the zero pressure difference point is close to the heat source, it is good for the stability and energy-saving of the system. It's better to select steep type's pump for the main circulating pump and flat type's pump for users.

Key words: Distributed power system; Stability; Energy-saving property

Received: 2020-03-31; Accepted: 2020-04-15; Published: 2020-04-17

影响动力分布式系统的稳定性与节能性的因素分析

陈丹露

湖北大学，武汉

邮箱: dlchen.0708@hotmail.com

摘 要: 总结分析了影响动力分布式系统稳定性和节能性的因素, 找到了在各自的影响因素中的共同影响因素, 零压差点和泵的选取, 结果表明: 零压差点选在靠近热源处对系统的稳定性和节能性都较好; 主循环泵选陡峭型、用户泵选平缓型的较好。

关键词: 动力分布式系统; 稳定性; 节能性

收稿日期: 2020-03-31; 录用日期: 2020-04-15; 发表日期: 2020-04-17

Copyright © 2020 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

近年来,集中供热系统在不断发展,但传统的集中供热系统存在着大流量小温差、冷热不均、能耗损失大等诸多不足。针对这些不足,江亿院士提出了动力分布式供热系统,且该系统也逐渐被业内人士认可,研究也越来越多。而现有的文献中大多集中在系统的稳定性和节能性两方面,但这些文献对这两方面的研究绝大多数是单方面的理论研究,很少有将两者联系起来针对分布式系统进行研究的。但实际上如果想将动力分布式供热系统更为广泛的被用户所接受,两者并须同时满足才可以,所以本文针对两者的关系进行初步的探讨。

2 管网的水力稳定性

在供热系统中,管网的水力稳定性应该是设计者们首要考虑的问题,它是供热系统运行的基础。水力稳定性是指在管网中各个管段或用户,在其他管段或用户的流量改变时,保持本身流量不变的能力。

2.1 影响因素

影响管网水力稳定性因素有多个,但这些因素中主要是在零压差点、水泵的性能两个因素。动力分布式供热系统由于热源循环泵不承担系统循环的全部动力,所以供热系统的干管上必然存在一个供回水压差为零的点,该点则称为零压差点。通过具体的案例定量的分析了零压差点选在不同的位置处对系统的稳定性的影响,得出在供热系统中零压差点选取在系统两端的稳定好,在系统的中间系统的稳定性相对比较差。水泵的选型对系统稳定性的影响:“热源处的循环水泵特性曲线平缓型的要比陡峭型的稳定性要好,支路上的循环水泵的特性曲线陡峭型的要比平缓型的稳定性要好”。

2.2 判断标准

影响稳定性的因素很多,但如何判断系统的稳定性,用户之间相互影响的大小。通常用管段或用户的设计流量和工况变动后可能达到的最大流量的比值

来衡量管道的水力稳定性。

$$y = \frac{V_g}{V_{max}} = \sqrt{\frac{\Delta P_y}{S_y}} / \sqrt{\frac{\Delta P_r}{S_y}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{\Delta P_w}{\Delta P_y}}} \quad (1)$$

式中： y 为管段或用户的水力稳定性系数； V_g 为管段或用户的设计流量； V_{max} 为管段或用户的工况变动后可能达到的最大流量； ΔP_y 为用户在正常工况下的作用压差； ΔP_r 为管网作用压差； ΔP_w 为官网正常工况下的管网干管的压力损失； S_y 为用户系统及用户支管的总阻抗。

在式 (1) 中，能知道提高水力稳定性的主要方法是减小干管压降，提高用户的压降，但并不能判断各用户之间的关系。

偏离系数法：供热系统，在某一设计工况下，当调节某支路时，其它各支路流量也发生变化。则第 i 个支路的新流量与设计工况下流量的比值称为 i 支路的流量偏离系数。

$$X_i = q'_i / q_i \quad (2)$$

其中： q_i 为 i 支路原来的流量； q'_i 为 i 支路变化后的新流量；当 j 支路调节时， i 支路的流量偏离系数为：

$$X_{i-j} = q'_i / q_i \quad (3)$$

可以看出当 X_{i-j} 越接近 1，表示 j 调节时， i 支路受其影响越小，稳定性越好；反之，则表示 j 进调节时， i 支路受其影响越大，稳定性越差。

对于 i 支路，当其它支路分别进行调节时，流量偏离系数平均值为：

$$\begin{aligned} \overline{X}_i &= \frac{\sum_{j=1}^{i-1} X_{i-j} + \sum_{j=i+1}^{n} X_{i-j}}{n-1} \\ \overline{Y}_i &= \frac{\sum_{j=1}^{i-1} X_{j-i} + \sum_{j=i+1}^{n} X_{j-i}}{n-1} \end{aligned} \quad (4)$$

\overline{X}_i 越接近 1 表示 i 支路相对于其他支路稳定性越好，反之则越差。由 \overline{Y}_i 可以判断 i 支路的调节对其他支路影响的大小， \overline{Y}_i 越接近 1，则 i 支路的调节对其他支路的影响越小，反之则越大。

X_{i-j} , X_i , \overline{Y}_i 只能判断单个支路相对于其他支路的稳定性，或对比不同支路的稳定性，但是对研究系统整体的稳定性具有一定局限。将公式进行整合，得到一个新的判断供热系统稳定性的量：

$$W = \frac{\sum_i^n \overline{X}_i}{n} = \frac{\sum_i^n \overline{Y}_i}{n} \quad (5)$$

其中 W 越接近 1 则系统的稳定性越好, 越偏离 1 稳定性越差。但是接近 1 有从小于 1 接近和大于 1 接近的区别, 为了更简单明了地判断, 进一步提出一个新的量:

$$W_s = |W - 1| \quad (6)$$

在初始条件相同, 支路流量调节量相同时, 系统在不同工况下的稳定性或者不同系统的稳定性可以用 W_s 值进行对比。 W_s 越大系统的稳定性越差, 反之则稳定性越好。

从偏离系数法可以看出, 不仅有单个支路之间的相互作用 X_{i-j} , 还有整体性的稳定性的判断 W_s 。

3 管网的节能性

能源是经济社会发展的基础, 同时也是影响经济社会发展的主要因素。近年来, 我国的能源生产总量与能源消费总量呈现快速增长的趋势, 但是能源生产一直小于能源消耗, 使我国的能源结构面临严峻挑战。而采暖能耗又在建筑能耗中占有很大的比例, 所以对采暖系统中进行系统优化设计或改善是必要的。

传统集中供热系统中水泵的选择是根据最不利环路的压头需求来选择的, 只需满足最不利环路的扬程, 其他支路如有扬程富余则采用增大阻力的方式来消耗, 最常见也是最直接的方法就是在支路增加阀门, 这种方法对能耗消耗很大。分布式供热系统则是用水泵代替阀门, 减少其无用能耗的消耗。影响管网能耗的因素很多, 主要是: 零压差点、背压、泵的分散度三个因素。

3.1 零压差点

供热系统根据零压差点是否可动分为变零压差点和定零压差点。变零差点调节系统是零压差点会随着室外温度的变化而不断改变。以图 1 为例: 以热源为参考, 在供暖期, 最初的室外温度相对较高, 用户所需要的流量较小, 热源泵可以提供 10 个用户所需要的压力, 各支路上的泵是关闭的, 和传统的集中供热一样, 水压图如图 2。

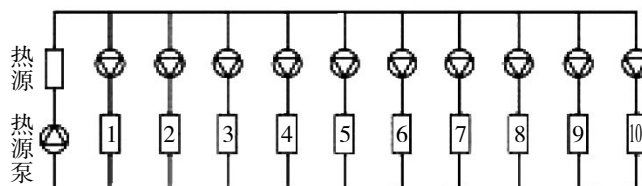


图 1 分布式供热系统

Figure 1 Distributed heating system

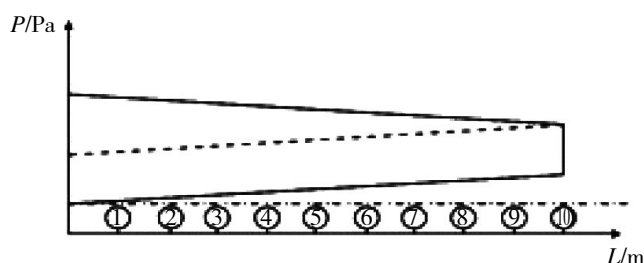


图 2 供热初期水压

Figure 2 Initial water pressure of heating

随着室外的温度逐渐降低，用户所需要的热量也开始增加，热源泵的扬程不能满足远端用户的资用压力，不能满足的用户支路开启循环水泵，水压图如图3，从图中可以看到，零压差点在用户4处。当室外的温度的温度很低时，10个用户可能均不能满足，则各个支路上的水泵全部开启，水压图如图4，此时零压差点逐渐移到1用户处。

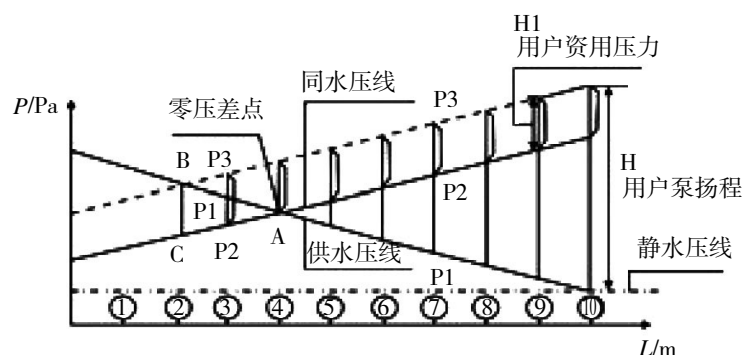


图 3 零压差点移动到用户4处的水压

Figure 3 Zero pressure almost moves to water pressure at user 4

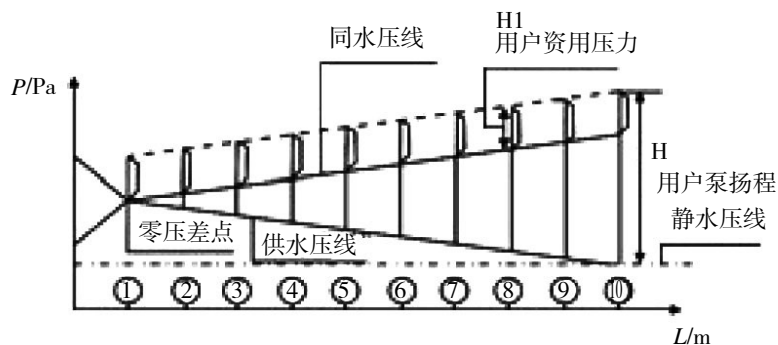


图 4 零压差点移动到用户 1 处的水压

Figure 4 Zero pressure almost moves to water pressure at user 1

当室外温度开始回升时，用户泵又开始关闭，零压差点从近端用户移到远端用户处。在一个供暖期，零压差点在不断地变化即为变零压差点调节。但此调节系统最大的不足就是在整个供暖期内，用户泵不断地开启关闭，会使用户泵的寿命大大下降，而且调节很繁琐。所以一般分布式供热系统中会选择定零压差点调节，即零压差点通过热源泵和用户泵的调节或用平衡管段使其固定在系统某处不变。

以图 1 系统为例，假设通过热源泵和用户泵的调节，零压差点固定在用户 4 处，则水压图如图 3。从水压图可以看出，零压差点及以后（用户 4 ~ 10），各个用户的资用压力通过支路水泵提供，用户 3 的资用压力一部分通过热源泵提供，一部分通过用户泵提供，用户 2 的资用压力恰好由热源泵全部提供，但用户 1 资用压力虽也由热源泵提供，但还有一部分需要通过阀门等消耗掉，存在无用功的消耗。同样，对于图 2 的无用功会更多，用户 1 ~ 9 均有无用功的消耗。而如若将零压差点定在用户 1 处，则各个支路上则没有无用的消耗。我们在供热系统提出的节能的概念，就是减少或消除无用功的消除。所以零压差点的选取对系统的节能有很大的影响，从节能的角度，零压差点选在临界点（热源泵恰好提供最近端用户的资用压力，其他用户的资用压力由各支路循环泵提供，此时的零压差点为临界点）和热源之间，系统支路均没有无用功的消耗，是最好的。

3.2 背压

背压在分布式供热系统中是针对支路提出的概念,即回供水压差,对背压有直接影响的是干管的总流量,总流量不变,则 ΔP_b 不变。如图4中,对于零压差点(A)之前与BC段之间的用户背压为负值(P_2-P_1),零压差点之后的用户背压为正值。支路上的循环水泵的扬程:

$$H = P_3 - P_1 = (P_3 - P_2) + (P_2 - P_1)$$

其中: $P_3 - P_2 = H_1$ 是用户的需用压力; $P_2 - P_1 = \Delta P_b$ 是背压 ΔP_b , 则支路循环水泵的扬程是该支路背压和用户资需用压力之和。而管网特性曲线 $H = SQ^2$, 其中 Q 是管网总流量, 对于支路 $H = \Delta P_b + SQ^2$, 这里的 Q 是支路的流量。当管网其他支路的变化引起总流量增大时, ΔP_b 也会增大, 支路要保持原有的流量, 需要水泵调节转速, 如图5, 则水泵扬程从 H_1 增加到 H_2 , 反之, 当 ΔP_b 减小时, 水泵扬程也会减小。所以在供热系统中, 应该尽量减小背压, 使其消耗的能耗减少。

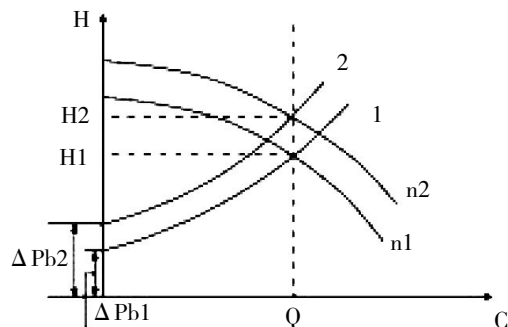


图5 支路管网曲线和泵的曲线

Figure 5 Branch pipe network curve and pump curve

3.3 泵的分散度

动力分布式供热系统相对于传统的集中供热系统,是用泵代替阀门,减少了无用功的消耗,但系统中节能率并不是随着泵的分散度的增加而增加。随着泵的分散度的增加,消耗的无用功在逐渐减少,但节能率也逐渐降低,而泵的数量却大幅度的增加,使系统的维护和管理难度大大增加。所以供热系统中泵

一直分散到系统末端并不合理,其分散度应该根据具体工程进行计算分析。

4 稳定性和节能性的关系

由以上综述分析可知,影响分布式系统稳定性和节能性的因素很多,但同时影响两者的因素主要是零压差点和泵的选取,在这两个因素的选取时应该同时兼顾稳定性和节能性的要求。零压差点的选取综合这两点可以看出,在分布式系统中零压差点选取在靠近热源处,对于稳定性和节能性都比较好。同样泵的选取综合两者的要求,干管主循环泵应该选择陡峭型,用户泵应该选择平缓型的,但选取是二级泵系统还是三级泵系统或其他系统,应该根据具体案例计算确定。这是对于两个主要影响因素的确定,对于其他的影响因素来说,当不能同时达到要求时,应该更多的侧重于系统的稳定性,因为稳定性是系统的基础,是节能性的前提。

参考文献

- [1] 陈亚芹. 分布式变频热网的运行调节方案 [D]. 清华大学, 2005.
- [2] 符永正. 变流量系统稳定性及减少输送能耗的研究 [D]. 华中科技大学, 2006.
- [3] 周正. 分布式变频集中供热系统稳定性研究 [D]. 天津大学, 2012.
- [4] 焦扬, 符永正. 关于动力分散系统分散程度的探讨 [J]. 建筑热能通风, 2010, 29(4): 24-26.