

空调水系统中电动调节阀 流量特性研究

华东建筑设计研究院有限公司 沈列丞[☆] 马伟骏

摘要 指出空调水系统中电动调节阀理论流量特性与工作流量特性的研究需遵循一定的前提条件,而在实际系统中,该前提条件往往无法得到保证,电动调节阀的实际流量特性还与空调水系统形式、阀门所处的位置等诸多因素相关,因此电动调节阀的实际流量特性应为一个范围,而非一条曲线。构建了四类典型空调水系统,计算分析了各类系统中各电动调节阀的实际流量特性。

关键词 空调水系统 电动调节阀 流量特性

Flow characteristics of the motorized valve in an air conditioning water system

By Shen Liecheng[★] and Ma Weijun

Abstract Points out that the study of theoretic and working flow characteristics of the motorized valve is based on some preconditions, but these preconditions usually cannot be satisfied in an actual chilled water system, and the actual flow characteristics are also related to the type of the chilled water system and the location of the valve, so the actual flow characteristics of the motorized valve should be a range instead of a curve. Establishes four representative chilled water systems, and analyses the actual flow characteristics of each valve in these systems.

Keywords chilled water system, motorized valve, flow characteristic

★ East China Architecture Design Institute, Shanghai, China

① 1 问题提出

在空调系统中,通过表面式换热设备的水流量与换热量之间存在非线性关系,为达到稳定控制的目标,通常要求为其所设的电动调节阀的流量特性为等百分比特性,从而实现表面式换热设备的换热量(被控量)与电动调节阀开度(调节量)之间的近似线性关系。目前,业内对于电动调节阀流量特性的讨论多从以下两个概念展开^[1]:

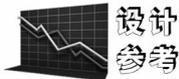
1) 理想流量特性,其讨论的前提为电动调节阀前后的压差恒定,这一特性仅与电动调节阀本身的特性相关。

2) 工作流量特性,其讨论的前提为电动调节阀所控支路前后的压差恒定,这一特性不仅与电动调节阀本身的特性相关,还与该阀门在其所控支路

中的阀权度 S 有关。

图 1 给出了同一电动调节阀在不同阀权度下的流量特性(该电动调节阀的理想流量特性为等百分比特性,阀门可调比 $R=30$)。等百分比特性阀门在接近关闭处仍存在一定的理论剩余流量,实际生产商为保证阀门关闭时的密闭特性,通常在接近全关位置采用修正的办法放弃小开度下的等百分比特性,由于这一因素对本文所要研究的内容影响甚

①[☆] 沈列丞,男,1980年9月生,硕士,工程师
200002 上海市江西中路246号5楼华东建筑设计研究院有限公司机电二所
(0) 13651744387
E-mail: Liecheng_shen@ecadi.com
收稿日期:2010-06-02
修回日期:2010-06-12



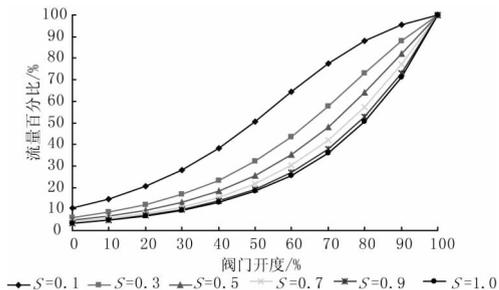


图1 不同阀权度下电动调节阀的流量特性

小,故忽略实际阀门小开度下的修正因素^[2])。可以看到, $S=1.0$ 的工作流量特性即为电动调节阀的理想流量特性,其呈现良好的等百分比特性;随着 S 的减小,电动调节阀的工作流量特性曲线向左偏离,当 $S=0.1$ 时其特性曲线已类似于线性。在实际工程中,结合控制要求与系统合理性,电动调节阀的阀权度通常取 $0.3\sim 0.5$ 。

然而在实际系统中,当某一末端支路作主动调节时,其流量的变化会引起系统总流量的变化,进而可能使施加在该末端支路的资用压头发生变化,这就无法满足讨论电动调节阀工作流量特性的前提,因此工作流量特性仍无法真实反映该电动调节阀的实际流量特性。由此推论,电动调节阀的实际流量特性不仅与阀门本身特性、阀权度有关,还与空调水系统形式和阀门在系统中所处的位置及该系统中其他末端支路阀门所处的状态有关。

2 基于四类典型空调水系统的电动调节阀实际流量特性分析

2.1 电动调节阀实际流量特性的定性判断

由于电动调节阀的实际流量特性与该阀门所处空调水系统中其他末端支路阀门所处的状态有关,因此可判别电动调节阀的实际流量特性无法通过一条特定的曲线来表征,而应该是在一个范围内的一簇曲线,这一范围由两条极端工况下的实际流量曲线包罗而成,这两条极端工况下的实际流量曲线分别称为实际流量曲线A(以下简称曲线A)和实际流量曲线B(以下简称曲线B)。

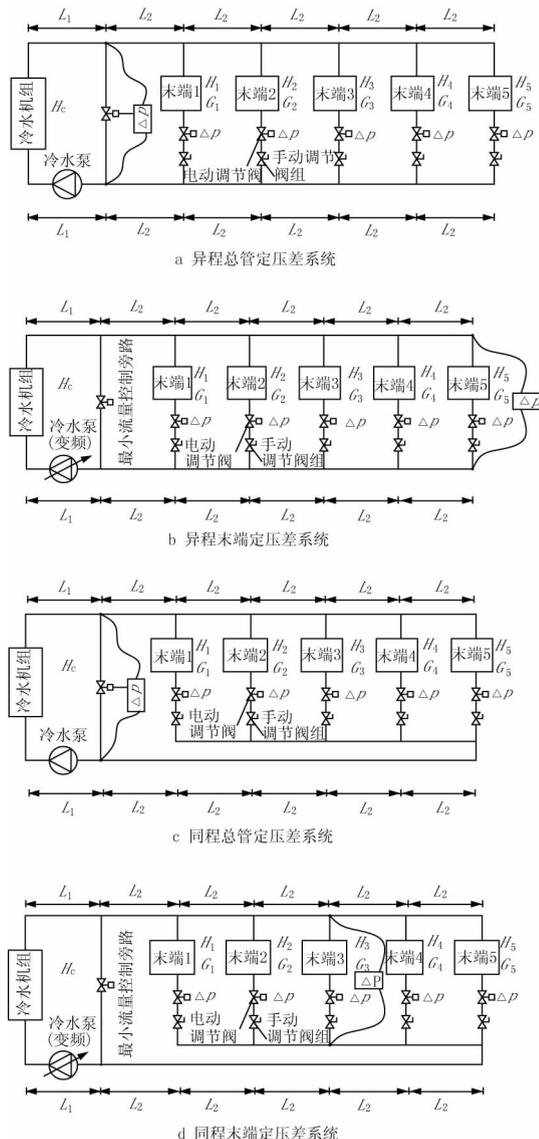
1) 曲线A是指当某一末端电动调节阀作主动调节时,会引起其他各末端资用压头的变化,而这些末端在各自的可调范围内,最大程度地使自身流量接近设计流量,此时作主动调节的电动调节阀的阀门开度与流量关系所构成的曲线。该工况下,作主动调节的电动调节阀的资用压头偏离设计工况

值最小。

2) 曲线B是指当某一末端电动调节阀作主动调节时,其他末端均保持在关闭状态,此时作主动调节的电动调节阀的阀门开度与流量关系所构成的曲线。该工况下,作主动调节的电动调节阀的资用压头偏离设计工况值最大。

2.2 四类典型空调水系统的构建

由于电动调节阀实际流量特性与所在空调水系统的形式相关,为突出研究重点,本文构建了异程总管定压差系统、异程末端定压差系统、同程总管定压差系统、同程末端定压差系统四类典型空调水系统,并在此基础上展开计算研究工作。图2给出了这四类典型空调水系统的示意图,其中异程总



注:各末端阻力相同前提下,同程系统最不利环路为中间末端环路

图2 典型空调水系统示意图

管定压差系统与同程总管定压差系统为典型的一次泵定流量系统;异程末端定压差系统与同程末端定压差系统为一次泵变流量系统,而对于末端阀门的调节特性而言,此类系统与二次泵变流量系统是一致的。

为保证四类典型系统的计算分析结果具有可比性,将系统中的计算前提与条件统一如下:

1) 末端设计工况流量 $G_1 = G_2 = G_3 = G_4 = G_5 = 15 \text{ t/h}$;

2) 末端设计工况阻力 $H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = H_5 = 4 \text{ m}$;

3) 制冷机设计工况阻力 $H_c = 8 \text{ m}$;

4) 水管长度 $L_1 = 20 \text{ m}$, $L_2 = 50 \text{ m}$, 局部阻力为沿程阻力的 50%;

5) 系统各末端电动调节阀的阀权度 $S = 0.3$, 理论可调比 $R = 30$, 各末端电动调节阀理论流量特性为等百分比特性。

经计算,冷水泵设计选型流量为 75 t/h , 扬程为 30 m 。

2.3 电动调节阀实际流量特性计算与分析

2.3.1 异程总管定压差系统

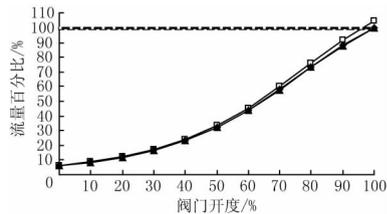
根据计算整理结果,图 3 给出了异程总管定压差系统中各末端电动调节阀的实际流量特性,图中曲线 A、曲线 B 及 100% 流量线所围合而成的部分为该阀的实际流量调节范围。通过比较可得到:

1) 异程总管定压差系统中,相对 $S = 0.3$ 工作流量特性曲线而言,曲线 A 和曲线 B 均向流量增大方向偏离,且曲线 B 比曲线 A 偏离得远。

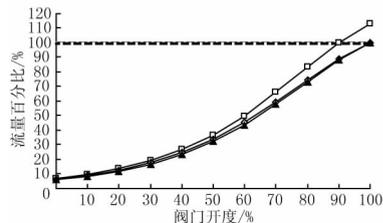
2) 异程总管定压差系统中,各末端电动调节阀的曲线 A 和曲线 B 均偏离了 $S = 0.3$ 工作流量特性曲线,且离系统定压差点越远的末端作主动调节时,其实际流量特性偏离得越远。

3) 异程总管定压差系统中,离系统定压差点越远的末端作主动调节时,其实际流量调节范围越大,也就是说偏离工作流量特性曲线的可能性就越大。

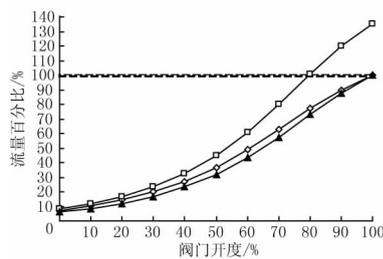
4) 异程总管定压差系统中,当某一末端电动调节阀作主动调节,其他末端未全部处于设计流量时,该作主动调节的电动调节阀的有效调节开度范围是减小的,这一电动调节阀离系统定压差点越远,其有效调节开度范围也越小。例如当其他各末端均关闭时(即曲线 B),末端 1 作主动调节,其有



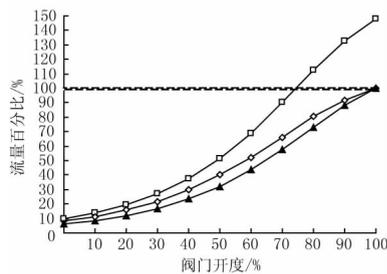
a 末端1主动调节



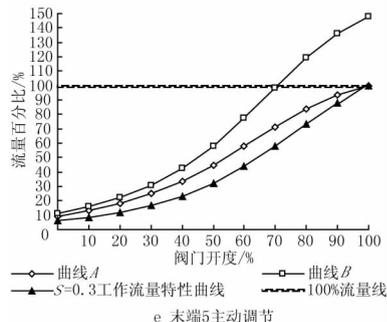
b 末端2主动调节



c 末端3主动调节



d 末端4主动调节



e 末端5主动调节

图 3 异程总管定压差系统电动调节阀实际流量特性

效调节开度范围为 $0 \sim 97\%$, 而末端 2, 3, 4, 5 的阀门的有效调节开度范围分别为 $0 \sim 90\%$, $0 \sim 80\%$, $0 \sim 75\%$ 和 $0 \sim 70\%$ 。

2.3.2 异程末端定压差系统

图 4 给出了异程末端定压差系统中各末端电动调节阀的实际流量特性,图中曲线 A 与曲线 B

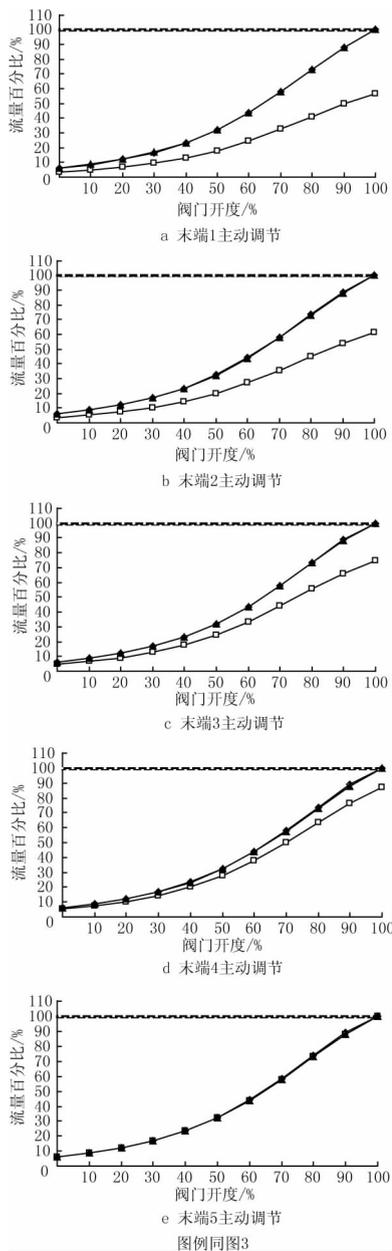


图4 异程末端定压差系统电动调节阀实际流量特性

之间的部分为该阀的实际流量调节范围。通过各末端电动调节阀实际流量特性的比较可以得到:

1) 异程末端定压差系统中,曲线A与 $S=0.3$ 工作流量特性曲线完全重合,这是由于当除主动调节阀门之外的末端电动调节阀均处于设计开度时,虽然主动调节阀门的开度变化影响着系统总流量的变化,但系统水压图的压力变化拐点在该主动调节阀门所处的位置,也就是该阀门的资用压头并不发生变化(与设计工况相同),因此使得这一工况下电动调节阀的实际流量曲线与其工作流量特性曲线完全重合。

2) 异程末端定压差系统中,曲线B与曲线A(即工作流量特性曲线)相比向流量减小方向偏离。曲线A与曲线B之间的面积为主动调节阀的实际流量特性范围,主动调节阀离系统定压差点的距离越近,该实际流量特性范围就越小,对于处于系统定压差点位置的末端5电动调节阀而言,其曲线A、曲线B和工作流量特性曲线已完全重合。

3) 异程末端定压差系统中,除曲线A以外,末端1~4电动调节阀在100%开度下均无法达到设计流量值(100%流量),且离系统定压差点越远,实际流量值与设计流量值偏离得就越远。这说明了当系统中除主动调节阀门以外,只要有其他末端阀门未处于设计开度,主动调节阀的资用压头就无法达到设计资用压头,100%开度下就会出现无法达到设计流量值的情况,离系统定压差点越远,这一现象越严重。

4) 异程末端定压差系统中,当末端进行主动调节时,其上游的末端均会出现资用压头不足欠流的现象。

2.3.3 同程总管定压差系统

图5给出了同程总管定压差系统中各末端电动调节阀的实际流量特性,图中曲线A、曲线B及100%流量线所围合而成的部分为该阀的实际流量调节范围。通过各末端电动调节阀实际流量特性的比较可以得到:

1) 同程总管定压差系统中,相对工作流量特性曲线而言,曲线A和曲线B均向流量增大方向偏离,且曲线B比曲线A偏离得远。

2) 同程总管定压差系统中,与工作流量特性曲线相比,各末端电动调节阀的曲线A的偏离程度是一致的,曲线B的偏离程度是不一致的,处于系统中游的末端3(系统最不利末端)曲线B的偏离程度最大,并以此末端为中心向上、下游呈对称性减小。

3) 同程总管定压差系统中,末端3作主动调节时,其实际流量特性范围越大,偏离工作流量特性曲线的可能性就越大,并以此末端为中心向上、下游呈对称性减小。

4) 同程总管定压差系统中,当某一末端电动调节阀作主动调节,而其他末端未全部处于设计流量时,该作主动调节的电动调节阀的有效调节开度

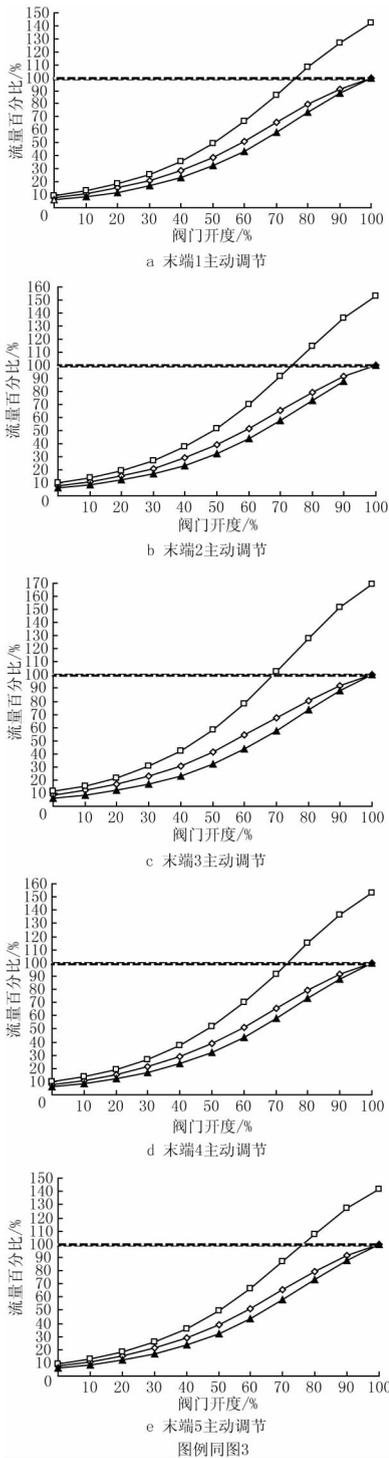


图5 同程总管定压差系统电动调节阀实际流量特性

范围是减小的,处于系统中游的末端3(系统最不利末端)的有效调节开度范围最小,并以此末端为中心向上、下游呈对称性增大。例如当其他各末端均关闭时(即曲线B),末端3作主动调节,其有效调节开度范围为0~70%,而末端1,2,4,5的阀门的有效调节开度范围分别为0~77%,0~73%,

0~73%和0~77%。

2.3.4 同程末端定压差系统

图6给出了同程末端定压差系统中各末端电动调节阀的实际流量特性,图中曲线A与曲线B之间的部分为该阀的实际流量调节范围。通过各

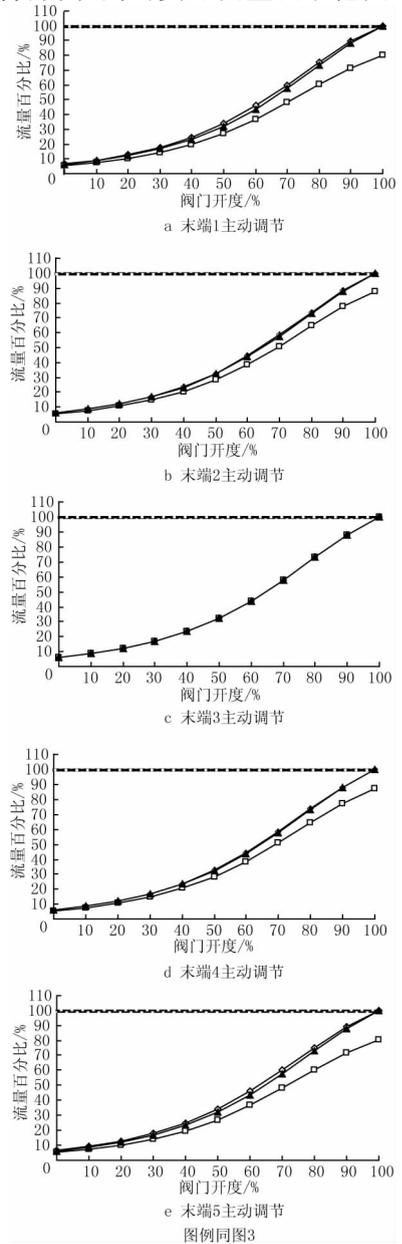


图6 同程末端定压差系统电动调节阀实际流量特性

末端电动调节阀实际流量特性的比较可以得到:

1) 同程末端定压差系统中,曲线A与工作流量特性曲线几乎重合,这是由于当除主动调节阀门之外的末端电动调节阀均处于设计开度时,主动调节阀门的开度变化对自身资用压头的影响几乎为零。

2) 同程末端定压差系统中,曲线B与曲线A

(即工作流量特性曲线)相比向流量减小方向偏离。曲线 A 与曲线 B 之间的面积为主动调节阀的实际流量特性范围,对于处于系统定压差点位置的末端 3 电动调节阀(系统中游最不利末端)而言,其曲线 A、曲线 B 和工作流量特性曲线已完全重合,其他末端电动调节阀的实际流量特性范围以末端 3 为中心向上、下游呈对称性增大。

3) 同程末端定压差系统中,除曲线 A 以外,末端 1,2,4,5 的电动调节阀在 100% 开度下均无法达到设计流量值(100% 流量),且离系统定压差点越远,实际流量值与设计流量值偏离得就越远。这说明了当系统中除主动调节阀门以外,只要有其他末端阀门未处于设计开度,主动调节阀的资用压头就无法达到设计资用压头,100% 开度下就会出现无法达到设计流量的情况,离系统定压差点越远,这一现象越严重。

4) 同程末端定压差系统中,当末端进行主动调节时,其上游的末端均会出现资用压头不足欠流的现象。

2.4 四类典型空调水系统电动调节阀实际流量特性比较

通过对比上述四类典型空调水系统可以看到,同程末端定压差系统中电动调节阀实际流量特性的范围相对较小,与工作流量特性曲线的偏离度也较小,这说明若不考虑末端欠流的情况,在此类系统中电动调节阀的调节性能是较好的。异程总管定压差系统中各末端电动调节阀在调节过程中,不会出现欠流现象,但实际流量特性范围要略大于同程末端定压差系统。同程总管定压差系统各末端电动调节阀的实际流量特性范围最大,与工作流量

特性曲线的偏离度也大,调节性能最差。

3 结论

3.1 空调水系统中电动调节阀理想流量特性与工作流量特性的讨论均具有各自的前提条件。

3.2 电动调节阀的实际流量特性应是一个范围,而非一条曲线,此特性不仅仅取决于阀门本身的特性和阀权度,还与其所在系统的形式、该阀门在系统中所处的位置及其他阀门的状态等因素息息相关,因此,只是从理想流量特性和工作流量特性去讨论电动调节阀并不充分。

3.3 通过构建四类典型空调水系统,分析比较了各类系统中各电动调节阀的实际流量特性。

3.4 在异程总管定压差系统和同程总管定压差系统中,末端在部分负荷工况下资用压头增大,电动调节阀的有效调节范围变小,末端离系统定压差点越远,其有效调节范围变得越多,因此应尽量提高此类系统电动调节阀的调节精度,在技术经济合理的前提下,也可采用定压差技术改善电动调节阀的调节性能。在异程末端定压差系统和同程末端定压差系统中,末端在部分负荷工况下资用压头减小,并存在欠流现象,末端离系统定压差点越远,欠流现象越严重,因此对于此类系统,不能仅以设计工况末端资用压头作为电动调节阀选型的依据,还应兼顾部分负荷工况下末端流量的可及性。

参考文献:

- [1] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2008:2540-2542
- [2] Robert Petitjean. 全面水力平衡暖通空调水力系统设计与应用手册[M]. 杨国荣,胡仰耆,魏炜,等,译. 北京:中国建筑工业出版社,2007:112-113