

水力计算在暖通中的应用

李 阳¹ 田 力²

1.2. 陕西同济土木建筑设计有限公司 陕西 西安 710000

摘 要: 供暖系统水力计算是根据管段设计热负荷,以合适的比摩阻选择管径,并以流速复核,同时控制相邻环路的不平衡率,以保证系统设计流量满足房间负荷需求。由于供水干管末端与回水干管始端的流量所需的管径小于最小管径,从而使得两端的环路阻力小于中间段,同程式系统最不利环路一般出现在系统中间段。为此,保证相邻分支点之间的供回水干管的阻力相近是可有效降低相邻环路的阻力差。

关键词: 水力计算、不平衡率、环路阻力、比摩阻

Application of hydraulic calculation in HVAC

Li Yang¹, Tianli²

1.2. Shaanxi Tongji Civil Architecture Design Co., Ltd. Shaanxi Xi'an 710000

Abstract: The heating pipe diameter is selected with the appropriate specific frictional head loss and the design heat load of the heating pipe, then rechecking with the flow rate and the imbalance rate of the adjacent loop, to ensure that the system design flow meets the room load demand, the whole process is called the hydraulic calculation of the combined heating system. The most unfavorable loop of Reverse Return System generally appears in the middle section of the system is caused by the heating pipe diameter of the beginning or end Feed Pipes is inappropriate. Therefore, ensuring that the resistance of the heating pipe between adjacent branch points is similar can effectively reduce the resistance difference of adjacent loops.

Key words: Hydraulic calculation, Unbalance rate, Loop resistance, Specific friction resistance

水力计算在暖通专业中非常重要,本文就水力计算的理论基础及对设计中的运用技巧作论述。

水力计算是保证室内环境温度、湿度等参数的措施之一。从设计流程来看,先确定室内环境的设计参数;后以质量守恒定律及能量守恒定律为基础理论依据;最后在某一状态下保证设计参数不变,通过改变其余参数来满足热力学基本定律。通过水力计算计算工具,来调控基本定律中的变量参数来保证设计参数不变。

暖通各输配系统需进行水力计算^[2]。如图1所示,为闭式机械循环散热器供暖水系统,系统采用水平同程双管下供下回式。设计供回水温度80~60℃,室内设计温度18℃。由供回水干管、分支供回管、散热器及阀门附件构成5个并联环路。

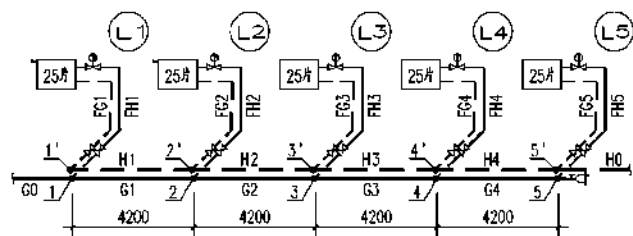


图1 闭式机械循环散热器供暖水系统(五环路)

每个环路的编号、管段数及阻力如表1所示,通过对比各环路阻力 $\Delta P_1 \sim \Delta P_5$ 的各分项阻力可知,各并联环路的分支环路阻力相同,干管阻力不同,使得各并联环路设计阻力存在差异,进一步各环路流量不能按需分配,在达到热平衡后,最终导致室内实际温度偏离设计温度。因此对干管的阻力进行分析。

表1 环路编号、所含管段及环路阻力

环路编号	环路所含管段	环路阻力
环路一	分支管FG1,FH1; 干管H1,H2,H3,H4	$\Delta P_1 = (\Delta P_{FG1} + \Delta P_{FH1} + \Delta P_{散热器}) + (\Delta P_{H1} + \Delta P_{H2} + \Delta P_{H3} + \Delta P_{H4})$
环路二	分支管FG2,FH2; 干管G1,H2,H3,H4	$\Delta P_2 = (\Delta P_{FG2} + \Delta P_{FH2} + \Delta P_{散热器}) + (\Delta P_{G1} + \Delta P_{H2} + \Delta P_{H3} + \Delta P_{H4})$
环路三	分支管FG3,FH3; 干管G1,G2,H3,H4	$\Delta P_3 = (\Delta P_{FG3} + \Delta P_{FH3} + \Delta P_{散热器}) + (\Delta P_{G1} + \Delta P_{G2} + \Delta P_{H3} + \Delta P_{H4})$
环路四	分支管FG4,FH4; 干管G1,G2,G3,H4	$\Delta P_4 = (\Delta P_{FG4} + \Delta P_{FH4} + \Delta P_{散热器}) + (\Delta P_{G1} + \Delta P_{G2} + \Delta P_{G3} + \Delta P_{H4})$
环路五	分支管FG5,FH5; 干管G1,G2,G3,G4	$\Delta P_5 = (\Delta P_{FG5} + \Delta P_{FH5} + \Delta P_{散热器}) + (\Delta P_{G1} + \Delta P_{G2} + \Delta P_{G3} + \Delta P_{G4})$

内腔无粘砂铸铁柱翼型散热器(进出水口中心距为600mm,单片散热面积0.258m²,传热系数 $K=2.22 \times (\Delta T) \wedge 0.290$)^[3],标准状态(供回水温度为95~70℃,室内温度为18℃,即传热温差 $\Delta T=64.5^\circ\text{C}$)散热量123.9W/片;设计

状态（供回水温度为80~60℃，室内温度为18℃，即传热温差 $\Delta T=52^\circ\text{C}$ ）散热量93.7W/片。

图1中每环路散热器片数25片，热负荷 $25 \times 93.7=2342.5\text{W}$ ，循环流量 $0.86 \times 2.3425 \div 20=0.101\text{m}^3/\text{h}$ ，采用最小管径DN20，其水流速为0.081m/s，比摩阻为5.911Pa/m。室内供暖系统推荐比摩阻60~120Pa/m^[1]，按照该推荐比摩阻确定供回水干管管径，会出现下述情况。供水干管各管段，从水流流动方向来看，流量依次减小，始段及中段可选择出满足推荐比摩阻的合理管径，而末段因流量过小，即使选择最小管径DN20（避免管道堵塞），比摩阻也远远小于60 Pa/m，就出现供水干管末端比摩阻远远小于供水干管平均比摩阻。同理，回水干管各管段，从水流流动方向来看，流量依次增大，始段流量过小，即使选择最小管径DN20，比摩阻也远远小于60 Pa/m，而中段及末段可选择出满足推荐比摩阻的合理管径，这样回水干管始端比摩阻远远小于回水干管平均比摩阻。综上，供水干管末端和回水干管始端比摩阻会远远小于回水干管平均比摩阻。

图1中的同程式系统，环路一、五为两端环路，环路二、四为次中间环路，环路三定义为中间环路。两端环路有供水干管末端及回水干管始端，环路计算阻力小；次中间环路有供水干管次末端及回水干管次始端，环路计算阻力相对两端环路变大；中间环路无供水干管末端、次末端及回水干

管始端、次始端，有供水干管始端及回水干管末端，环路计算阻力最大。这样中间环路设计阻力比两端环路设计阻力大的情况。如不采取任何措施，实际运行时，按照并联环路阻力相同的原则，管路系统自行调节，两端环路流量变大，中间环路流量变小，就出现两端热中间冷的现象。这也是为什么同程式系统最不利环路难以确定及中间环路房间冷两端环路房间过热的原因。

如图2所示，为闭式机械循环散热器供暖水系统，系统采用水平同程双管下供下回式。设计供回水温度80~60℃，室内设计温度18℃。由供回水干管、分支供回管、散热

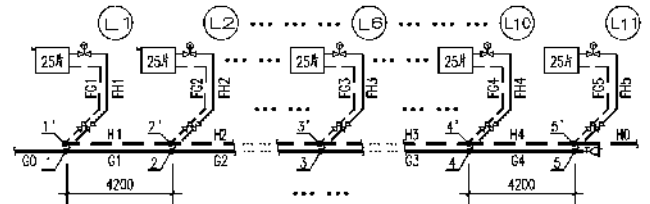


图2 闭式机械循环散热器供暖水系统（多环路）

器及阀门附件构成11个并联环路。当按照室内推荐比摩阻60~120Pa/m进行计算时，计算结果如表2，从表2可知以下结论：a.设计最不利环路为中间环路7；b.由中间环路7向两端环路看不平衡率逐渐变大；c.并联环路不平衡率小于15%^[2]的只有环路5、6、8、9；d.最大不平衡率出现在两端环路上，为24.1%。

表2 环路间不平衡率次计算（常规计算方法）

供水干管														
序号	负荷 (kW)	流量 (m ³ /h)	管道材料	公称直径	内径 (mm)	管长 (m)	v(m/s)	R(Pa/m)	$\Delta P_y(\text{Pa})$	ζ	动压 (Pa)	$\Delta P_j(\text{Pa})$	总阻力 (Pa)	管段累积阻力
G1	25.768	1.133	镀锌钢管	32	35.75	4.2	0.313	46.229	194.162	0.1	48.054	4.805	198.967	198.967
G2	23.425	1.03		32	35.75	4.2	0.285	38.496	161.684	0.1	39.712	3.971	165.655	364.622
G3	21.083	0.927		32	35.75	4.2	0.256	31.466	132.159	0.1	32.169	3.217	135.376	499.998
G4	18.74	0.824		25	27	4.2	0.4	106.89	448.939	0.1	78.119	7.812	456.751	956.749
G5	16.398	0.721		25	27	4.2	0.35	82.592	346.886	0.1	59.813	5.981	352.868	1309.617
G6	14.055	0.618		25	27	4.2	0.3	61.392	257.847	0.1	43.942	4.394	262.242	1571.859
G7	11.713	0.515		25	27	4.2	0.25	43.311	181.907	0.1	30.518	3.052	184.958	1756.817
G8	9.37	0.412		25	27	4.2	0.2	28.336	119.013	0.1	19.53	1.953	120.966	1877.783
G9	7.028	0.309		25	27	4.2	0.15	16.487	69.245	0.1	10.987	1.099	70.343	1948.126
G10	4.685	0.206		25	27	4.2	0.1	6.372	26.761	0.1	4.882	0.488	27.25	1975.376
G11	2.343	0.103		20	21.25	4.2	0.081	5.911	24.825	0.1	3.183	0.318	25.143	2000.519
199	364.62	500	956.7	1310	1572	1757	1878	1948.1	1975.376	2001				
回水干管														
H1	2.343	0.103	镀锌钢管	20	21.25	4.2	0.081	5.911	24.825	0.1	3.183	0.318	25.143	2000.519
H2	4.685	0.206		25	27	4.2	0.1	6.372	26.761	0.1	4.882	0.488	27.25	1975.376
H3	7.028	0.309		25	27	4.2	0.15	16.487	69.245	0.1	10.987	1.099	70.343	1948.126
H4	9.37	0.412		25	27	4.2	0.2	28.336	119.013	0.1	19.53	1.953	120.966	1877.783
H5	11.713	0.515		25	27	4.2	0.25	43.311	181.907	0.1	30.518	3.052	184.958	1756.817
H6	14.055	0.618		25	27	4.2	0.3	61.392	257.847	0.1	43.942	4.394	262.242	1571.859
H7	16.398	0.721		25	27	4.2	0.35	82.592	346.886	0.1	59.813	5.981	352.868	1309.617
H8	18.74	0.824		25	27	4.2	0.4	106.89	448.939	0.1	78.119	7.812	456.751	956.749

续表:

H9	21.083	0.927		32	35.75	4.2	0.256	31.466	132.159	0.1	32.169	3.217	135.376	499.998
H10	23.425	1.03		32	35.75	4.2	0.285	38.496	161.684	0.1	39.712	3.971	165.655	364.622
H11	25.768	1.133		32	35.75	4.2	0.313	46.229	194.162	0.1	48.054	4.805	198.967	198.967
2001	1975.4	1948.1	1878	1757	1572	1310	956.7	500	364.622	199			2000.52	
环路支管														
Z1 ~ Z11	2.343	0.103	镀锌 钢管	20	21.25	6	0.081	5.911	35.464	11	3.183	35.008	70.473	70.473
770	770.47	770.47	770.5	770.5	770.5	770.5	770.5	770.47	770.473	770				
环路#管段组成G1-G#, Z#, H#-Hn。供水管段截止管段编号数, 回水管段起始管段编号数, 支管编号数, 环路编号数; 四个编号相同														
若环路总数为n, 则单环路管段数为n+1。环路水力计算不平衡率如下:														
HL1	HL2	HL3	HL4	HL5	HL6	HL7	HL8	HL9	HL10	HL11				
2970	3110.5	3218.6	3605	3837	3914	3837	3605	3218.6	3110.471	2970				
	HL1	HL2	HL3	HL4	HL5	HL6	HL7	HL8	HL9	HL10	HL11			
阻力最大 环路阻力	3914	3914	3914	3914	3914	3914	3914	3914	3914.2	3914	3914			
该环路 阻力	2970	3110	3219	3605	3837	3914	3837	3605	3218.6	3110	2970			
不平衡率	0.241	0.205	0.18	0.08	0.02	0	0.02	0.079	0.1777	0.21	0.241			
节流阻力	944.2	803.7	696	309	77.3	0	77.3	309.2	695.59	804	944.2			

由上表知, 虽然设计当中进行了水力计算, 但还是存在大于15%的不平衡率, 为此分析如何在无设置调节阀的前提下使不平衡率小于15%。从供水干管末端和回水干管始端比摩阻会远远小于供回水干管平均比摩阻这个原因出发, 考虑以下措施: 增大两端环路所承担的负荷, 用以提高供水干管末端和回水干管始端比摩阻, 减小与平均比摩阻差距; 满足最小流速(0.25m/s)^[2]的前提条件小, 合理增大中间管段、供水干管始端及回水干管末端管径, 提高比摩阻, 缩小与平均比摩阻差距; 相邻两分支节点间供回水管段比摩阻更接近。

采取上述措施后, 重新对图2所示系统进行水力计算, 计算结果详见表3。从表3

表3 环路间不平衡率次计算(新方法)

供水干管														
序号	负荷(kW)	流量(m ³ /h)	管道材料	公称直径	内径(mm)	管长(m)	v(m/s)	R(Pa/m)	ΔPy(Pa)	ζ	动压(Pa)	ΔPj(Pa)	总阻力(Pa)	管段累积阻力
G1	25.768	1.133	镀锌 钢管	40	41	4.2	0.238	22.867	96.043	0.1	27.778	2.778	98.82	98.82
G2	23.425	1.03		40	41	4.2	0.217	19.072	80.101	0.1	22.956	2.296	82.396	181.216
G3	21.083	0.927		40	41	4.2	0.195	15.617	65.59	0.1	18.595	1.86	67.449	248.665
G4	18.74	0.824		32	35.75	4.2	0.228	25.134	105.563	0.1	25.416	2.542	108.104	356.769
G5	16.398	0.721		32	35.75	4.2	0.199	19.505	81.922	0.1	19.46	1.946	83.868	440.637
G6	14.055	0.618		32	35.75	4.2	0.171	14.576	61.218	0.1	14.296	1.43	62.648	503.285
G7	11.713	0.515		25	27	4.2	0.25	43.311	181.907	0.1	30.518	3.052	184.958	688.243
G8	9.37	0.412		25	27	4.2	0.2	28.336	119.013	0.1	19.53	1.953	120.966	809.209
G9	7.028	0.309		25	27	4.2	0.15	16.487	69.245	0.1	10.987	1.099	70.343	879.552
G10	4.685	0.206		25	27	4.2	0.1	6.372	26.761	0.1	4.882	0.488	27.25	906.802
G11	2.343	0.103		20	21.25	4.2	0.081	5.911	24.825	0.1	3.183	0.318	25.143	931.945
98.8	181.22	248.67	356.8	440.6	503.3	688.2	809.2	879.55	906.802	932				
回水干管														
H1	2.343	0.103	镀锌 钢管	20	21.25	4.2	0.081	5.911	24.825	0.1	3.183	0.318	25.143	931.945
H2	4.685	0.206		25	27	4.2	0.1	6.372	26.761	0.1	4.882	0.488	27.25	906.802
H3	7.028	0.309		25	27	4.2	0.15	16.487	69.245	0.1	10.987	1.099	70.343	879.552
H4	9.37	0.412		25	27	4.2	0.2	28.336	119.013	0.1	19.53	1.953	120.966	809.209

续表:

H5	11.713	0.515		25	27	4.2	0.25	43.311	181.907	0.1	30.518	3.052	184.958	688.243
H6	14.055	0.618		32	35.75	4.2	0.171	14.576	61.218	0.1	14.296	1.43	62.648	503.285
H7	16.398	0.721		32	35.75	4.2	0.199	19.505	81.922	0.1	19.46	1.946	83.868	440.637
H8	18.74	0.824		32	35.75	4.2	0.228	25.134	105.563	0.1	25.416	2.542	108.104	356.769
H9	21.083	0.927		40	41	4.2	0.195	15.617	65.59	0.1	18.595	1.86	67.449	248.665
H10	23.425	1.03		40	41	4.2	0.217	19.072	80.101	0.1	22.956	2.296	82.396	181.216
H11	25.768	1.133		40	41	4.2	0.238	22.867	96.043	0.1	27.778	2.778	98.82	98.82
932	906.8	879.55	809.2	688.2	503.3	440.6	356.8	248.67	181.216	98.8			931.945	
环路支管														
Z1 ~ Z11	2.343	0.103	镀锌 钢管	20	21.25	6	0.081	5.911	35.464	11	3.183	35.008	70.473	70.473
770	770.47	770.47	770.5	770.5	770.5	770.5	770.5	770.47	770.473	770				
环路#管段组成G1-G#, Z#, H#-Hn。供水管段截止管段编号数, 回水管段起始管段编号数, 支管编号数, 环路编号数; 四个编号相同														
若环路总数为n, 则单环路管段数为n+1。环路水力计算不平衡率如下:														
HL1	HL2	HL3	HL4	HL5	HL6	HL7	HL8	HL9	HL10	HL11				
1801	1858.5	1898.7	1936	1899	1777	1899	1936	1898.7	1858.491	1801				
	HL1	HL2	HL3	HL4	HL5	HL6	HL7	HL8	HL9	HL10	HL11			
阻力最大 环路阻力	1936	1936	1936	1936	1936	1936	1936	1936	1936.5	1936	1936			
该环路阻 力	1801	1858	1899	1936	1899	1777	1899	1936	1898.7	1858	1801			
不平衡率	0.07	0.04	0.02	0	0.02	0.08	0.02	0	0.0195	0.04	0.07			
节流阻力	135.2	77.96	37.8	0	37.1	159	37.1	0	37.761	78	135.2			

综上: 设计最不利环路可能不止一处; 由最不利环路向两侧环路看不平衡率逐渐变大; 并联环路不平衡率均小于15%; 最大不平衡率出现在最不利环路的两端环路上, 为8%。从表3的结果可知, 提出的措施达到了降低不平衡率的要求。

水平同程散热器供暖系统, 增大两端环路所承担的负荷; 满足最小流速(0.25m/s)的前提下, 合理增大中间管段、供水干管始端及回水干管末端管径; 相邻两分支节点间供回水管段比摩阻宜接近; 单个系统所负担的立管数不宜超过11。采用以上措施时, 可以最大限度降低并联环路间不平衡率, 系统实际运行时, 实际流量与设计流量偏离程度较小, 室内的温度才能达到设计温度。

水力计算有助于消除过多设置调节阀, 降低环路间阻力差, 减小系统阻力, 减小水泵装机容量, 节约运行能耗。

参考文献:

- [1] 贺平, 孙刚 王飞.《供热工程》(第四版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 90,105.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50736-2012) [Z].2012-01-21:27-28.
- [3] 山西省住房和城乡建设厅.《山西省工程建设标准设计-12系列建筑标准设计图集-暖通专业-12N1供暖工程》[Z].2013-11-31:97.