

文章编号:1007-6735(2004)06-0533-04

大厦冷冻水系统运行工况下循环压力的理论计算

刘涓娟¹, 李立人¹, 王 新², 陈宝明¹

(1. 上海理工大学 动力工程学院, 上海 200093; 2. 上海期货交易所物业管理有限公司, 上海 200122)

摘要: 基于流体力学一元流动连续方程、能量方程及串并联管路流动规律, 建立了冷冻水系统的简化模型, 推导出适合于计算一般大厦冷冻水系统阻抗的并联算法。并利用某大厦冷冻水系统的已知运行参数进行了实例计算, 所得循环压力结果与实测值相吻合, 表明并联算法可行。

关键词: 冷冻水管网; 并联管路; 阻抗; 循环压力

中图分类号: TU 831 **文献标识码:** A

Theoretical calculations of circulating pressure of chilled water system in operating mode

LIU Juan-juan¹, LI li-ren¹, WANG Xin², CHEN Bao-ming¹(1. College of Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;
2. Shanghai Futures Property Management Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: Based on continuity equation, energy equation and fluid principle of parallel series pipe system of one-dimensional flow, a parallel calculating method applied to calculate resistance of chilled water system in common high buildings is derived with a simplified model of chilled water system. As to real examples calculations are made by using given operating parameters of a certain building's chilled water system, and the results of circulating pressure are obtained which are in good accordance with actually measured values, showing the feasibility of the method proposed.

Key words: chilled water system; parallel pipe system; resistance; circulating pressure

二次泵变水量空调冷冻水系统, 是目前一些大型高层民用建筑或多功能建筑群中正逐步采用的一种水系统形式。此系统常配有多台二次泵以克服循环流动阻力, 但由于水网在工作中管路特性不断变化与设计不符, 使配置的泵过多或泵的扬程偏大。即由于空调末端装置的使用特点是阀门开度随负荷变化, 其冷冻水流量也随之改变, 这就使得冷冻水管路的阻抗 S 不可能是一个常数, 而要随空调负荷的变化而变化, 这样要求水泵提供的扬程也能随之而变。

为了改造或调节已有的泵, 必须求得管网在不同流量下实际所需的循环作用压力或绘出管网特性曲线。对较复杂的管路系统, 通常实用的方法是最不利配水点法。另外还有一种利用管路各部分特性曲线逐次叠加来求出系统的总特性曲线的作图法^[1], 但准确性较差, 尤其 S 一旦改变就要重新作图, 这显然很不方便。本文采用并联法可一次性求得管网的总阻抗, 然后求得实际所需的循环作用压力, 进而绘出管网总特性曲线, 为水泵的调节提供依据。

1 水力计算原理

建筑给水管网的校核水力计算是以已知系统各管段的流量和各管段的管径为依据,确定系统所必须的循环作用压力(水头),进而检验动力设备(水泵等)的型号和动力消耗是否与之匹配.此类计算的基本理论依据是流体力学一元流动连续方程、能量方程及串并联管路流动规律.而在闭式机械循环液体管网中,能量方程可简化为^[2]

$$H_{\text{泵}} = \Delta H \tag{1}$$

式中 $H_{\text{泵}}$ ——水泵扬程 m

ΔH ——管网循环阻力 MPa

且管网循环阻力等于管网中的所有沿程阻力与局部阻力之和^[2],即

$$\Delta H = \sum (iL + h_j) \tag{2}$$

式中 h_j ——局部水头损失 MPa

L ——楼层间直管长度 m

i ——管道单位长度水头损失 MPa/m

$$i = \lambda \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g} \tag{3}$$

其中 λ ——摩阻系数

d ——管子的内径 m

v ——平均水流速度 m/s

g ——重力加速度 m/s^2

但工程中常用 i 的计算式^[3]为

当 $v < 1.2 \text{ m/s}$ 时

$$i = 9.12 \times 10^{-4} \frac{v^2}{d^{1.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v} \right)^{0.3} \tag{4}$$

当 $v \geq 1.2 \text{ m/s}$ 时

$$i = 1.07 \times 10^{-3} \frac{v^2}{d^{1.3}} \tag{5}$$

2 计算公式的推导

根据一般大厦二次泵变水量系统结构和已知管段的管径,建立等效模型.如图 1 所示,二次泵变水量冷冻水系统为闭式管网,用以克服平衡管 AB 以上的负荷侧(也称用户侧)阻力、机房内的环路阻力及从机房向用户侧供回水的阻力.

又因管网循环阻力可表示为

$$\Delta H = SQ^2 \tag{6}$$

式中 S ——负荷侧(用户侧)阻抗、机房内的环路阻抗及机房向用户侧供回水的阻抗串

联之和 s^2/m^5

Q ——管网流量 m^3/h

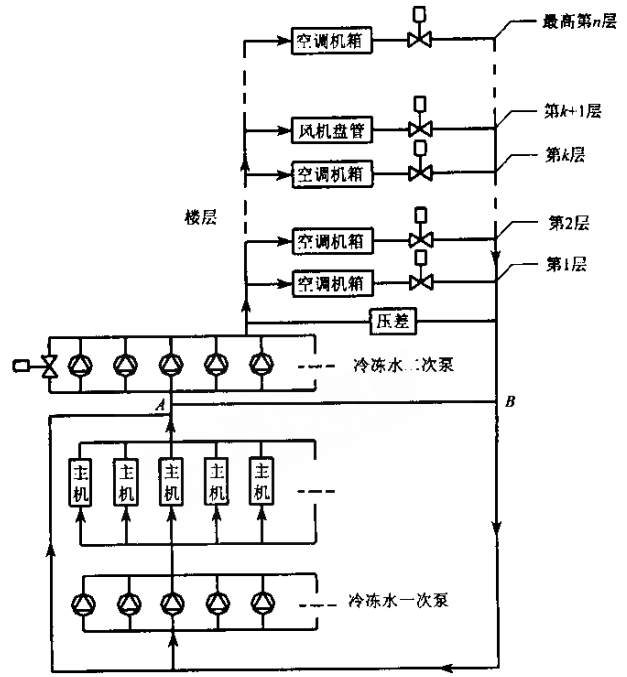


图 1 大厦冷冻水管网示意图

Fig.1 Sketch drawing of refrigerating water system in building

结合式(1)和式(6),说明在管网流量已知时,确定管网的总阻抗即可确定二次泵所需的扬程.因负荷侧阻力占管网循环阻力的绝大部分且计算复杂,所以应首先计算负荷侧阻抗.

2.1 模型简化

负荷侧管网阻抗按图 2 计算,假设大楼为 n 层.图中 $S_n, S_{n-1} \dots S_{k+1}, S_k, S_{k-1} \dots S_1$ 表示每层水平支路中的阻抗(包括空调机箱或风机盘管、阀、房内管道及接头等的阻抗); $S_{(n-1)}$ 表示第 $n-1$ 层到第 n 层供水立管中的阻抗; $S_{(n-1)'}'$ 为第 n 层到第 $n-1$ 层回水管中的阻抗;记 $S_{n-1}' = S_{(n-1)}' + S_{(n-1)'}'$, S_{n-1}' 表示第 n 层到第 $n-1$ 层之间供回水立管中的阻抗;同样, S_k' 就表示第 k 层到第 $k+1$ 层之间供回水时的阻抗.

如图 2a 所示,总阻抗从顶层即 n 层开始逐步向下计算,记第 n 层与第 $n-1$ 层间的当量阻抗为 $S_{(n-1)}$,它表示 S_n 和 S_{n-1} 串联后再与 S_{n-1} 并联得到的当量阻抗,如图 2b 所示.计算依次类推,则图 2c 中的 S_{ek} 表示管网系统从第 n 层到中间任意 k 层之间的当量阻抗,则 S_{e1} 也就表示了系统从第 n 层到第 1 层之间的管网阻抗.

2.2 公式推导

2.2.1 S_k 的计算

实际情况下,某一时刻每层水平支路中的流量

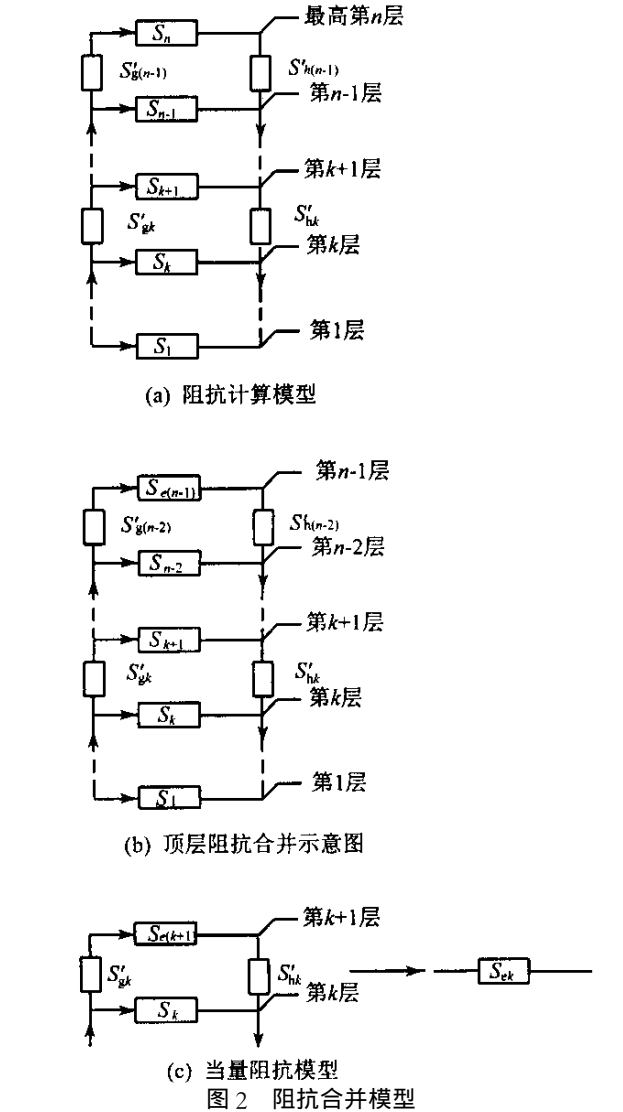


图 2 阻抗合并模型

q 不同,即每层水平支路的进出口压差 ΔP 也是不等的.但文献 [4] 中说明,管网特性曲线只是在认为系统所有末端装置内的水流量变化一致的情况下才可得到,如不作这种理想状况的假设,管网系统的性能估算是很难的,非管网特性曲线所能表示,而需以管网水头损失域图表示.因为本文是对管网特性曲线的研究,根据 $S_{gk}' + S_{hk}' \ll S_k$ 及串联管路的压降规律可知, S_{gk}' , S_{hk}' 和 S_k 3 者串联时,在 S_{gk}' 和 S_{hk}' 上的压降远小于在 S_k 上的压降,考虑到楼层中设备较一致,所以在求 S_k 时可进行一些简化.即认为某一时刻每层中的流量相等,即 $q = Q/3600n$,于是每层设备的进出口压差 ΔP 也相等,得到 S_k 的计算式为

$$S_k = \Delta P / (\gamma \cdot q^2) \tag{7}$$

式中 γ ——水的重度, N/m^3

2.2.2 S_k 的计算

第 k 层与第 $k+1$ 层之间直立供回水管的水头损失 h_k' 等于供回水管段中的沿程损失 h_f' 与楼层间管径有突变时造成的局部损失 h_j' 之和.由于楼层间的供水和回水立管的管材相同,管径和管中流量也一样,所以供水、回水时的流动损失是相同的,即

$$h_f' = 2iL \tag{8}$$

求局部损失,利用式

$$h_j' = (\xi_1 + \xi_2) \frac{v^2}{2g} \tag{9}$$

式中 ξ_1 ——管径突扩时的局部阻力系数

$$\xi_1 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

ξ_2 ——管径突缩时的局部阻力系数

$$\xi_2 = 0.5 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)$$

A_1 ——小管径截面积

A_2 ——大管径截面积

$$v = \frac{(n-k) \times q}{0.25\pi d_k^2}$$

为水在小管径管中的流速^[5],

其中 d_k 为小管管径.

所以由 $h_k' = h_f' + h_j'$ 得

$$S_k' = \frac{h_k'}{[(n-k) \times q]^2} \tag{10}$$

($k = 1, 2, 3, \dots, n-1$)

2.2.3 S_{ek} 的计算

根据串联管路和并联管路的特点^[5]可知

$$S_{ch} = \sum S_{ci} \tag{11}$$

式中 S_{ch} ——串联管路的总阻抗

S_{ci} ——串联管路中各管段的阻抗

$$\frac{1}{\sqrt{S_{bh}}} = \sum \frac{1}{\sqrt{S_{bi}}} \tag{12}$$

式中 S_{bh} ——并联管路的总阻抗

S_{bi} ——并联管路中各管段的阻抗

按图 2a 中 $S_{d(n-1)}$ 的计算模型,可推得 $S_{d(n-1)}$ 的计算式为

$$\frac{1}{\sqrt{S_{d(n-1)}}} = \frac{1}{\sqrt{S_{n-1}}} + \frac{1}{\sqrt{S_n + S_{n-1}'}}$$

再根据图 2c 依次类推,归纳得出管网系统从最高第 n 层到中间第 k 层之间的当量阻抗 S_{ek} 的计算式为

$$\frac{1}{\sqrt{S_{ek}}} = \frac{1}{\sqrt{S_k}} + \frac{1}{\sqrt{S_{d(k+1)} + S_k'}} \tag{13}$$

($k = 1, 2, 3, \dots, n-1$)

由于环状管网结构相似,所以利用以上的计算模型及归纳公式可以较方便的编制计算程序,然后代入已知工况即可求得负荷侧管网的阻抗 S_{el} .

2.3 循环压力计算

根据管网总阻抗

$$S = S_{el} + S_{机房} + S_{机房}' \tag{14}$$

式中 $S_{机房}$ ——机房内阻抗
 $S_{机房}'$ ——机房向负荷侧供回水的阻抗

由于机房装置各不相同, $S_{机房}$ 和 $S_{机房}'$ 需单独求出, $S_{机房}'$ 利用 S_k' 的计算方法求得; $S_{机房}$ 由机房沿程损失和局部损失求得,具体步骤与计算楼层中压力损失时相同,最后利用式(14)可求出管网总阻抗,而管网循环流动阻力 ΔH 根据式(6)即可算出.

3 实例计算

上海某大厦采用的二次泵变水量空调冷冻水系统,地下3层处配有二次冷冻泵6台,单台水泵流量300 m³/h,扬程34 m,用于克服水系统阻力.运行参数表明,在一年四季中都不需同时启动6台泵就能满足大厦空调运行需求.为了提高冷冻水系统的运行效率和经济性,必须进行合理的调节,计算出实际工况下系统需要的循环工作压力.

3.1 计算工况

大厦高139.8 m,地上38层,每层楼高3.75 m,冷冻机组安装在地下3层,简称B3层,离地面9.8 m深.要求大厦顶层余压0.05 MPa,供回水温度分别为7℃和12℃,每层空调机房由控制阀调节使进出口压力差相等.风机盘管分布在27层到38层之间,送水管长35 m,管径25 mm;另有止回阀,截止阀(普通式斜杆轴).冷冻水管道直径:B3层到2层为400 mm、3层到7层为350 mm、8层到15层为300 mm、16层到25层为250 mm、26层到38层为200 mm、每层楼通空调机房管径为70 mm.

3.2 计算步骤

以大厦提供的某一段时间内的总流量 $Q = 960$ m³/h和空调机箱进出口压差 $\Delta P = 0.04$ MPa为例计算.

a. 由式(7)得每层阻抗 $S_k = 1.026 1 \times 10^4$ s²/m⁵,则38层空调机房阻抗 $S_{38} = S_k$,由于本例中

28层到37层之间是风机盘管,按式(10)得第28层到第38层供回水阻抗 $S_{28-38}' = 841.708$ s²/m⁵.

b. 分布在28层到37层间的风机盘管阻抗由风机盘管型号及其他参数单独求得, $S_{风} = 8.175 \times 10^3$ s²/m⁵,根据式(13), S_{38} 与 S_{28-38}' 先串联再与 $S_{风}$ 并联后得第28层到第38层之间的当量阻抗 $S_{e28} = 2366.414$ s²/m⁵.同理,当量阻抗 S_{e28} 与27层向28层的供回水管阻抗 S_{27}' 串联,再与27层空调机房阻抗 S_{27} 并联得到当量阻抗 S_{e27} .以后各层结构相似,计算依次类推.

c. 大厦机房在地下3层(B3层),在计算中以地下2层(B2层)到38层的冷冻水管网为负荷侧管网, S_{eB2} 表示负荷侧管网阻抗, S_{B3} 表示机房内阻抗, S_{B3}' 表示机房向负荷侧供回水的阻抗,利用程序循环语句求出 S_{eB2} ,按式(14)即得整个管网的总阻抗 $S = S_{eB2} + S_{B3}' + S_{B3} = 250.637$ s²/m⁵.最后,根据式(6)求得管网循环流动阻力 $\Delta H = 0.173 8$ MPa.

d. 取一般工况的总流量 Q 和空调机箱进出口压差 ΔP 为运行参数进行计算,计算方法同上,所得结果如表1所示.

表 1 ΔH 的并联法计算结果与实测值比较分析
Tab.1 Comparison between calculating results of parallel method and measuring values of ΔH

$Q/$ (m ³ ·h)	$\Delta P/$ (MPa)	$S/$ (s ² ·m ⁵)	并联法 计算结果 (MPa)	实测值 (MPa)	相差值 (%)
960	0.04	250.637	0.173 8	0.16	8.627
856	0.04	275.533	0.155 8	0.15	3.854
725	0.03	290.622	0.117 9	0.11	7.154
668	0.03	358.406	0.123 4	0.14	11.855

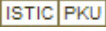
3.3 计算结果分析

表1中数据表明,用并联算法得到的管网系统损失与实测值基本吻合,说明此方法可迅速地预算出不同流量下管网的水头损失,为泵的调节预先提供参数.

造成计算结果和实测值之间存在差异的原因,主要是由于给水管道中弯头和阀门等配件数量较多,而对其局部水头损失未做详细的逐个计算,此外在动态情况下得到的实测值本身存在着的随机误差也是原因之一.

(下转第 541 页)

大厦冷冻水系统运行工况下循环压力的理论计算

作者：[刘涓娟](#)，[李立人](#)，[王新](#)，[陈宝明](#)
作者单位：[刘涓娟, 李立人, 陈宝明\(上海理工大学, 动力工程学院, 上海, 200093\)](#)，[王新\(上海期货交易所物业管理有限公司, 上海, 200122\)](#)
刊名：[上海理工大学学报](#) 
英文刊名：[JOURNAL OF UNIVERSITY OF SHANGHAI FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY](#)
年，卷(期)：2004, 26 (6)
被引用次数：2次

参考文献(6条)

1. [何耀东](#); [何青](#) [中央空调](#) 1998
2. [付祥钊](#) [流体输配管网](#) 2001
3. [李田](#); [胡汉民](#) [给水排水快速设计手册](#) 1996
4. [James B Rishel](#) [HVAC](#)
5. [许玉望](#) [流体力学, 泵与风机](#) 1995
6. [刘文滨](#) [给水排水快速设计手册](#) 1998

引证文献(2条)

1. [刘雪峰](#). [刘金平](#). [陈星龙](#) [异程布置的冷冻水系统管网水力特性计算方法](#)[期刊论文]-[土木建筑与环境工程](#) 2013 (5)
2. [刘雪峰](#). [刘金平](#). [陈星龙](#). [陆继东](#) [同程布置冷水系统管网水力特性计算机分析](#)[期刊论文]-[暖通空调](#) 2012 (10)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_shlgdxxb200406009.aspx