

蓄冷空调系统设计与实施中 几个问题的探讨

中国建筑西北设计研究院有限公司 周 敏[☆]

西部机场集团机场建设指挥部 李晓威

中国建筑西北设计研究院有限公司 王娟芳

摘要 基于蓄冷工程设计和实施方面的工作经验,对空调蓄冷负荷计算中研究对象及计算方法的选用、蓄冷系统运行中的负荷预测以及直连式蓄冷系统虹吸现象的利用等问题进行了探讨。

关键词 蓄冷空调系统 负荷计算 负荷预测 直连式系统

Discussion of some issues in design and implementation of cool storage air conditioning systems

By Zhou Min[★], Li Xiaowei and Wang Juanfang

Abstract Based on experiences in this scope for years, discusses the selection of the objects researched and methods for calculating cool storage air conditioning load, and load forecasting of cool storage air conditioning system operation and utilization of siphon phenomenon for the direct-connected storage system.

Keywords cool storage air conditioning system, load calculation, load forecasting, direct-connected system

★ China Northwest Architectural Design Institute Co., Ltd., Xi'an, China

①

1 空调蓄冷负荷计算中研究对象及计算方法的选用

对于蓄冷空调系统,由于其可实现节能的大温差低温供水,故通常用于小区域供冷或大型综合性建筑的区域性供冷。对于较小的系统,现阶段普遍采用的空调冷负荷计算方法^[1-2]对投资和运行无明显的影响;而对于大型供冷系统,采用传统的负荷计算方法已不能满足需要,应采用较科学合理的计算方法。由于在蓄冷空调系统中采用冷负荷均衡运行策略选择系统各设备,其对冷负荷计算有着特殊的需求和依赖,即蓄冷负荷关注的是动态冷负荷——设计周期尖峰冷负荷和设计周期总冷负荷,而非传统意义上的静态冷负荷——设计日尖峰冷负荷(即逐时最大综合冷负荷)。而现今无论是蓄冷还是非蓄冷系统,夏季空调冷负荷计算均依据的是 GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》第 6.2.15 条。该规范主要针对的是空调末端

系统(空调区)的冷负荷计算,用于大型制冷站计算结果将产生较大的差异。对于蓄冷系统夏季空调冷负荷的计算,应注意以下几点。

1) 区分建筑物空调冷负荷、空调区冷负荷以及空调房间冷负荷的概念和研究对象的不同

表 1 为各冷负荷间的关系及区别。原则上系统越大、功能越复杂,总负荷差值越大。其主要原因是建筑物内各房间发热源(人员、照明、发热设备等)的非同时使用所引起;如不按逐时累计,还会出现围护结构太阳辐射热的非同时性之差。所有这些将引起设计日尖峰冷负荷和设计日总冷负荷的增大,必然

①☆ 周敏,男,1963 年 4 月生,硕士,教授级高级工程师,暖通所副总工程师
710003 西安市西七路 291 号中国建筑西北设计研究院有限公司
(029) 87256691
E-mail:zhoumin1963@163.com
收稿日期:2010-04-02

引起蓄冷系统配置容量的大幅度提高。

表 1 空调负荷计算中各冷负荷间的关系及区别

	冷负荷类型		
	建筑物空调冷负荷 Q	空调区冷负荷 Q_a	空调房间冷负荷 q
研究对象	整个空调建筑物	末端系统的空调区域 (可以是一个或多个房间)	单个的空调房间
关注点	建筑物冷负荷	空调末端系统冷负荷	单个房间冷负荷
用途举例	选制冷机	选空调系统末端设备	选各房间空调设备
相互间关系	实际使用中一般 $Q < \sum Q_a, Q_a \leq \sum q$		

2) 计算前应先选择合适的研究对象

从表 1 可看出,空调制冷系统或蓄冷空调系统应以所服务的建筑物为研究对象,计算出建筑物或建筑群的空调冷负荷,而非各空调区冷负荷或空调房间冷负荷的逐时值之和。

3) 选择合适的室内各负荷工作时间段

在设计大型蓄冷空调系统时,室内发热源(人员、照明、设备发热等)应按实际发生时间段进行计算,特别是对于大型会展中心、酒店、餐饮店、学校等设计日各时段内热变化较大的场所,如按常规计算所采用的定内热值,将引起设计日总冷负荷增大,偏离实际值。

4) 合适的设计典型日作为设计计算工况

对于大型会展中心、学校等特定场所,围护结构负荷和内热的最大值往往不在同一时间段出现,即夏季最热时(室外设计状态下)室内人员、照明、设备等发热量并不是最大状态。故该类建筑应采用计算整个空调季(过渡季和夏季)内逐时冷负荷的软件如 DeST,获得该季节内的设计典型日作为设计工况计算空调冷负荷。

2 蓄冷系统运行中的负荷预测

2.1 负荷预测的意义

夏季空调冷负荷主要由以下几部分构成:围护结构负荷(围护结构传热和太阳辐射热),室内热、湿负荷(人员、照明、设备发热等)及其他相关负荷(新风、生产及输送过程冷损等)。蓄冷空调系统非设计日的运行,依赖于人工或计算机(以下叙述的预测均为)对建筑物负荷预测而进行的优化控制,负荷预测一般采用自回归滑动平均法(ARMAX)和神经网络法(ANN)两种,而后者现阶段应用于蓄冷研究最多。预测通常采用对当天室外气象温度(极少数也考虑太阳辐射)的预测,获得建筑物负荷的预测,从而根据预测的当天负荷优化控制蓄冷系统制冷机组运行和融冰供冷时间

的比例。

2.2 负荷预测存在的问题

笔者认为负荷预测在实施中存在以下问题。

1) 计算机负荷预测的准确性

从上面冷负荷构成可看出,室外温度仅是形成冷负荷的因素之一,当建筑物以围护结构传入的热量为,且室内热、湿源一天中较稳定时,神经网络负荷预测法预测负荷对蓄冷系统的优化控制还具有一定的参考价值;但对于多数建筑物,如太阳辐射热构成负荷较大的玻璃幕墙建筑物或大空间,人员、照明、设备散热构成负荷较大且不稳定的商业建筑物、各类候车(机)楼以及娱乐综合建筑,不定期使用的会议和会展建筑,计算机自动负荷预测将失去运行的依据。

2) 蓄冷项目中负荷预测的夸大作用

在项目实施的前期,总承包商或弱电承包商总是过于夸大计算机自动负荷预测在运行中的能力和作用,而在实际运行一两年以上的项目中(包括笔者设计或参与的近 10 个项目),不是由于承包商失去了耐心不整合系统,就是由于预测不准或未达到设计容量采用人工优化控制运行,当然也不排除个别笔者未看到的适宜项目。

2.3 蓄冷系统负荷预测的客观应用

由于计算机自动负荷预测在使用中有其局限性(仅预测围护结构传热量较准),不宜过于依赖计算机自动负荷预测功能。对于多数蓄冷系统,建议以计算机自动负荷预测作为参考,适时加入人工对太阳辐射和人员等形成的负荷的预测,客观地看待和评价计算机自动负荷预测和无人值守功能。

3 直连式蓄冷系统虹吸现象的利用

对于水蓄冷和外融冰蓄冷系统,空调末端系统与开式蓄冷槽可直接连接,也可采用换热器实现间接连接。由于直接连接具有供水温度低、融冰效率高(对冰蓄冷而言)、设备投资少(无需设置小温差换热器、水泵等)、输送能耗低(无换热器阻力和供水温差大)、水槽容量小(对水蓄冷而言)以及系统简单等优点,在国外大型蓄冷空调系统常常采用此连接方式,文献[3]对此作了一定的论述。但直连系统应处理好空调末端的定压、蓄冷槽的溢水、系统除气和除污处理以及回水管的设置等问题,特别是如果回水管的设计不合理,将引起水泵用于提升系统水势能的能耗增加。

3.1 循环水泵扬程的确定

图 1 为开式蓄冷槽直连式系统的两种做法。

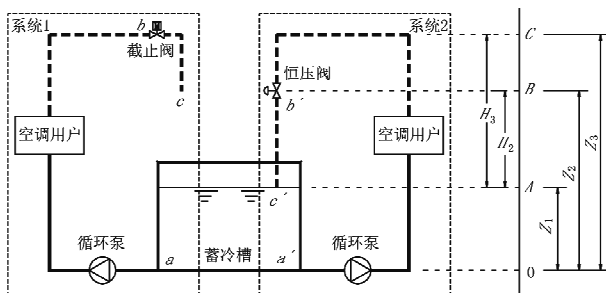


图 1 开式蓄冷槽两种直连式系统

以下分析其各自的特点和循环泵的扬程差异。根据文献[4]中管路系统有能量输入的伯努利方程和管道的虹吸管作用,知系统 1 和系统 2 中循环泵的扬程 H_{x1} , H_{x2} 分别如下。

1) 管道阀门(图中 b, b' 点)后无法出现虹吸现象

系统 1

$$H_{x1} = (Z_3 - Z_1) + \frac{p_C - p_A}{\rho g} + \frac{\alpha_b v_b^2 - \alpha_A v_A^2}{2g} + h_{a-c} \quad (1)$$

系统 2

$$H_{x2} = (Z_2 - Z_1) + \frac{p_B - p_A}{\rho g} + \frac{\alpha_{b'} v_{b'}^2 - \alpha_A v_A^2}{2g} + h_{a'-c'} \quad (2)$$

以上两系统的循环泵扬程计算可简化为

系统 1

$$H_{x1} = H_3 + \frac{v^2}{2g} + h_{a-c} \quad (3)$$

系统 2

$$H_{x2} = H_2 + \frac{v^2}{2g} + h_{a'-c'} \quad (4)$$

式(1)~(4)中 p_A, p_B, p_C 分别为液面 A, B, C 处的大气压强, kPa, 其中 $p_A = p_B = p_C$; $\alpha_b, \alpha_{b'}, \alpha_A$ 分别为管段 b, b' 点和液面 A 处的流速分布均匀附加系数, 此处均取 1; $v_b, v_{b'}, v_A$ 分别为管段 b, b' 点和液面 A 处的水流速, m/s, 此处管口均取 v , 液面为 0; ρ 为水的密度, kg/m³; g 为自由落体加速度, m/s²; $h_{a-c}, h_{a'-c'}$ 分别为系统 1, 2 的管道系统阻力, m。

以上两系统循环泵扬程的计算条件是:

① 系统 1 中截止阀 b 点后面的管段 $b-c$ 处于无法出现虹吸现象的最不利状况;

② 系统 2 中恒压阀 b' 点前 C 水平面上能形成较好的虹吸作用, 但后面的管段 $b'-c'$ 处于无法形

成管道虹吸作用的最不利状况;

③ 管段 a, a', c, c' 阻力和蓄冷槽水力损失以及液面速度头忽略不计。

2) 管道阀门(图中 b, b' 点)后能形成虹吸管作用

系统 1

$$H_{x1} = (Z_2 - Z_1) + \frac{p_B - p_A}{\rho g} + \frac{\alpha_c v_c^2 - \alpha_A v_A^2}{2g} + h_{a-c} \quad (5)$$

系统 2

$$H_{x2} = (Z_1 - Z_1) + \frac{p_A - p_A}{\rho g} + \frac{\alpha_{c'} v_{c'}^2 - \alpha_A v_A^2}{2g} + h_{a'-c'} \quad (6)$$

以上两系统的循环泵扬程计算可简化为

系统 1

$$H_{x1} = H_2 + \frac{v^2}{2g} + h_{a-c} \quad (7)$$

系统 2

$$H_{x2} = \frac{v^2}{2g} + h_{a'-c'} \quad (8)$$

从式(3), (4), (7), (8)可看出, 虹吸现象与系统形式以及管口距液面的高度有关, 将对循环泵的扬程选择影响较大, 所以, 能出现虹吸现象对系统是有利的。

3.2 虹吸作用及条件(运行中)

对于系统 2, 当恒压阀 b' 点前的 C 水平面上能出现虹吸现象时, 系统输送能耗将降低; 对于系统 1 和系统 2, 当截止阀后 $b-c$ 管段和恒压阀后 $b'-c'$ 管段也能出现虹吸现象时, 循环泵扬程将随之降低, 其值与距水面的距离有关。管道的虹吸作用取决于以下几点:

1) 管道各处(如 C 水平面上)因虹吸作用形成的最大真空高度不应超过 7~8.5 m;

2) 为使管段 $b-c$ 和 $b'-c'$ 处出现虹吸现象, 即管内保证一定的真空度且形成管道满流出水(即管嘴出流), 该管道应保证一定的出口阻力或断面尺寸。

3.3 虹吸作用的利用

1) 对于系统 2, 系统中最不利的 C 水平面上应保证有一定的静压值, 其值宜 ≥ 35 kPa;

2) 为使易出现虹吸现象的管道加长, 降低循环泵扬程, 截止阀和恒压阀应设置在距水面较近(低)的高度处。

4 蓄冷系统直连式混水循环系统的利用

4.1 系统利用及特点

蓄冷空调系统投资高、输送能耗大,因此减少蓄冷系统一切中间环节、加大供回水温差可充分体现蓄冷的优势,特别是大型区域性蓄冷系统。对于大型区域性蓄冷空调系统,供冷时冰蓄冷系统可提供 1~5℃ 的低温冷水,充分利用融冰时的低温冷水以及满足空调末端系统的供水温度,是发挥蓄冷系统优势的关键。图 2,3 分别给出了建筑小区供冷系统的两种连接方式,即常用的间接式连接方式和本文推荐的直接混水循环式连接方式,表 2 给出了两种系统连接方式各自的特点。

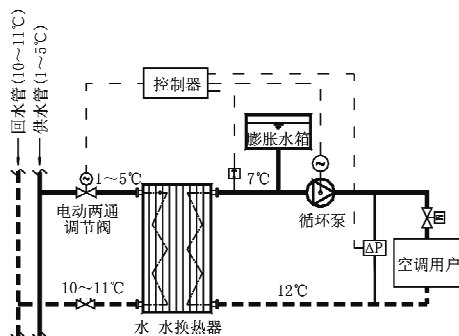


图2 间接式连接系统

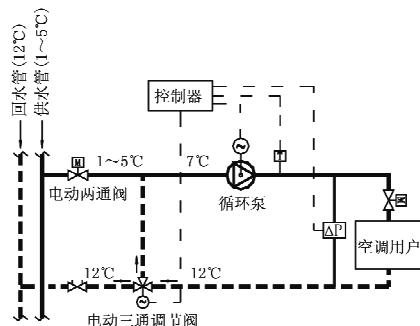


图3 直接混水循环式连接系统

表2 两种连接方式的主要特点

	连接方式	
	间接式	直接混水式
主要设备	循环泵,电动两通调节阀,控制器,换热器,软水、补水、膨胀等装置	循环泵,电动三通调节阀,电动两通阀,控制器
技术性能	1) 空调总供回水温差 $\Delta t=5\sim 6^\circ\text{C}$; 2) 系统换热增加两侧总阻力约 100~200 kPa	1) 空调总供回水温差 $\Delta t=7^\circ\text{C}$; 2) 系统无附加阻力
主要优点	1) 两系统隔开,可采用不同工作压力; 2) 水力平衡简单	1) 因系统设备少和容量低而降低了初投资; 2) 因系统温差大和无换热阻力使输送能耗降低; 3) 无需补水、膨胀装置,系统简单
主要缺点	投资大、能耗高、系统复杂	系统需采用相同工作压力

注:供水均按 5℃ 计。

4.2 两种连接方式投资及能耗差异(见表 3)

表3 两种连接方式的投資及能耗对比

	连接方式	
	间接式	直接混水式
一次侧参数	水温:5℃/10.5℃, $\Delta t=5.5^\circ\text{C}$; 水流量:250 m ³ /h; 总阻力:33 m	水温:5℃/12℃, $\Delta t=7^\circ\text{C}$; 水流量:196 m ³ /h; 总阻力:20 m
一次侧泵功率/kW	28.1	13.3
二次侧参数	水温:7℃/12℃, $\Delta t=5^\circ\text{C}$; 水流量:275 m ³ /h; 总阻力:18 m	水温:7℃/12℃, $\Delta t=5^\circ\text{C}$; 水流量:275 m ³ /h; 总阻力:15 m
二次侧泵功率/kW	16.9	14.0
泵功率合计/kW	45	27.3

注:建筑面积 20 000 m²,单位冷负荷 80 W/m²,末端供回水温度 7℃/12℃,一次侧系统水阻力 20 m,末端系统水阻力 10 m,换热器两侧水阻力均为 8 m。

由表 3 可见,两者泵功率差 39.3%,设备投资差 20~30 万元。

5 蓄冷项目的具体实施

蓄冷空调系统完成设计后在实施的过程中,应根据具体情况采用以下措施。

5.1 一次性设计分期实施

由于在设计初始阶段受相关设计规范的要求及约束,采用周期最大全负荷进行设计,而实际项目实施中对于周期使用的建筑物(如机场航站楼,通常 10 年为一建设周期)和采用常规计算方法^[1]设计的区域性空调系统,根据以往的工程经验,蓄冷空调系统宜采用一次性设计分期实施的策略,即制冷机组和相关水泵采用分批投入的实施策略。这样既可减少初投资,又可适时调整冷负荷计算的不足之处,减少建设的盲目性,同时又可节省一定量的运行费用。

5.2 控制系统的标准化

现阶段的蓄冷系统通常采用个性化的设计和控制系统,造成了控制系统和调试对现场工况及条件的强烈依赖,势必引起系统编程工作量的增加和调试工况的不可控性。国内现已有部分厂商开始尝试将蓄冷系统控制在车间内完成,生产出标准化产品。此类产品的国内相关标准及规范已在制订及待发布之中,请相关设计人员予以关注。

5.3 运行维护的专业化托管

由于大型蓄冷空调系统复杂、控制烦琐,又需要一定的专业知识对系统负荷进行预测,而一般的运行人员较难掌握此方面的知识和技能,尽管多数项目设计人员和使用希望运行人员能进行后期

(下转第 48 页)