

文章编号: 1006-7329(1999)06-0086-05

神经网络法负荷预测与蓄冰空调系统的运行优化

21
86-90

刘宪英¹ 张华玲²

TU831.37
TU831.2

(1. 重庆建筑大学 城市建设学院 400045; 2. 重庆建筑专科学校 400030)

摘要 文中介绍了蓄冰空调系统几种常见的控制策略。提出蓄冰空调系统的运行优化必须进行准确的负荷预测,并给出采用神经网络模型(ANN)预测负荷的方法。

关键词 蓄冰空调系统; 人工神经网络模型; 运行优化 负荷预测

中图分类号 TB61

文献标识码 A

1 前言

蓄冰空调系统能否经济地成功运行,不仅取决于系统设计合理性,也取决于控制策略的正确选择和运行优化。如果蓄冰空调系统已具有较合理的设计,下面仅就运行策略的选择问题及实现运行优化的方法进行分析 and 讨论。

冰蓄冷空调系统的设计前提是设计日的负荷分布,系统主要设备如制冷机和冰槽的容量是按设计日进行的。因此系统在设计日负荷条件下运行效果最佳,然而系统大部分时间是在偏离设计条件下运行。如何在非设计条件下使系统最经济合理地运行,是蓄冰空调系统运行管理中面临的一个棘手而又必须解决的课题,是提高蓄冰空调系统经济效益的重要途径之一。根据国外已发表的研究文献显示:通过优化运转控制策略将使蓄冷系统比一般的蓄冷系统节约 30% 的电费^[1],这是一个很可观的比例。目前,欧、美等工业发达国家已投入大量的研究经费与科技人员为提高蓄冷系统运转效率做进一步的研究工作。要充分发挥蓄冰空调系统的优越性,应尽可能降低运行费用。也不可片面强调加大峰谷电价差对降低运行费用的作用,而应充分发挥系统本身的节能潜力,调整系统达到最佳性能,实现系统的优化运行。

2 蓄冰空调系统的控制方法

从设计上讲蓄冰空调系统可分为全蓄冷和分量蓄冷两类。全蓄冷模式满足负荷的方式相对比较简单,夜间低谷时间制冷机满负荷制冰蓄冷,在用电高峰时释放所蓄的冷量来满足空调负荷。如果次日供冷负荷减少,槽内将残留过多的余冰,影响并降低下次充冷循环的效率。分量蓄冷模式的控制和满足负荷的方式均较复杂,可用的运行控制策略也较多,如图 1 所示。

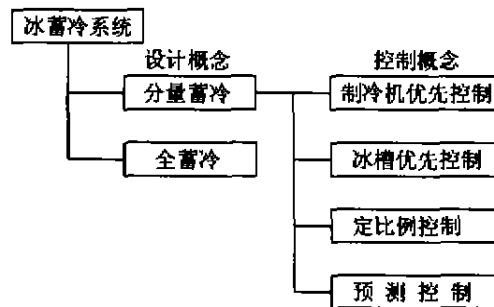


图 1 蓄冰空调系统及控制分类

2.1 制冷机优先控制

收稿日期: 1999-10-20

基金项目: 国家计委“九五”重点科技攻关项目“蓄冰空调关键产品及技术”专题(97-954-03-03)

作者简介: 刘宪英(1936-),男,河北唐山人,重庆建筑大学教授,主要从事制冷空调节能研究。

采用制冷机优先控制方式,尽可能依靠制冷机来满足建筑物空调负荷,冷量的不足部分用蓄冰槽补充,这种控制方式实现比较简单。在制冷机位于冰槽上游的管路布置中,当负荷超过制冷机容量时,回水温度升高,通过管路中的温度传感器来控制相关的泵和阀门,使部分回水通过冰槽,释放部分蓄冷量。如果控制不当将会使槽内的冰不能完全融化,造成用电高峰时间制冷机不必要的运行,增加运行费用。这就需要进行准确的负荷预测,使夜间的蓄冷量刚好等于峰期空调负荷与制冷机直供容量之差。日间峰期供冷时,制冷机满负荷高效地运行,再辅以适量的融冰供冷共同满足负荷需要。虽然这样能提高制冷机的运行效率并在供冷结束时蓄冷量刚好用完,但不能充分发挥夜间蓄冷的优势,运行的费用偏高。这种控制方式易于实现,因而在国外被广泛采用^[1]。

2.2 冰槽优先控制

采用冰槽优先控制方法,主要是依靠冰槽来满足空调负荷,供冷不足时再启用制冷机补充。通常采用的办法是当冰槽出口温度超过设计值时,触发制冷机供冷。从理论上讲采用这种控制能充分利用夜间高峰时低廉电价的蓄冷量,可使运行费用降至最少。实际上冷机低负荷运行使其 COP 值降低,导致输出单位冷量的电耗增加,并且操作控制难于实现。由于制冷机供冷量的输出难于准确控制,倘若融冰速度控制不当,蓄冷量可能被过早耗尽,峰期制冷机不能单独满足负荷要求,造成空调系统供冷不足。因此需要准确地预测次日的空调负荷,保证有足够的蓄冷量来满足负荷。同时又使制冷机在用电高峰时期尽可能地减少运行。

2.3 定比例控制

采用定比例控制方式,使冷机和冰槽各自分别承担峰期各时刻一定比例的供冷负荷。由于同时使用制冷机和冰槽供冷,故比制冷机优先控制更节省峰值用电量,其运行费用介于制冷机优先控制和冰槽优先控制之间。由于要使制冷机的供冷量随时调整到所需值,且随着每天供冷负荷的波动,可能造成槽内残留余冰或蓄冰过早耗尽,因而这种控制实际执行起来比较困难。因此也需要进行准确的负荷预测,恰当地确定日间供冷时冷机所承担的负荷比例,使冰槽冷量刚好完全释放。

2.4 预测控制

采用预测控制方法,必须对次日逐时负荷分布进行准确预测,从而根据负荷分布对制冷机的运行和冰槽的释冷进行合理的安排。日间供冷时,每融半小时槽内的余冰量与该时刻到供冷结束时所需的总冷量作一次比较,若槽内所余的冰量不够,则启动制冷机补充供冷。这样即能保证供冷高峰时期槽内有足够的冰,也能在供冷结束时蓄冷量全部释放。

这种控制方式能使蓄冷空调系统的运行费用降至最低,但降低的额度主要取决于负荷预测的准确度。为了提高负荷预测的精度,可在空调开启后,每隔一定时间(一般为 1 h)对预测负荷进行粗略修正,也就是利用历史数据对负荷进行自我调整。具体方法是将负荷乘以负荷系数,负荷系数等于运行开始时刻到计算时刻的实测负荷总值与预测负荷总值之比。

预测控制即充分利用冰槽的冷量,又克服了制冷机的低负荷运行,同时又能使制冷机尽可能地少开机,实现了冰槽和制冷机同时分摊高峰的负荷最合理的搭配。特别在峰、谷电价差较大的地区采用这种控制所获得的经济效果更为显著。

3 运行控制的优化

蓄冷空调系统实际运行时,应根据负荷分布特性、电价结构、系统形式、蓄冷供冷与直接供冷费用之比等综合因素来选择合理的控制策略。无论采用哪种控制方式,均需要优化运行管理,尽可能的减少运行费用。

3.1 优化运行的前提

优化运行的目的是满足建筑物供冷要求的同时尽量减少运行费用。准确的负荷预测是合理分配制冷机供冷与融冰供冷来满足负荷的基础和前提。此外优化运行时还须考虑以下因素:

- (1) 尽可能地利用夜间低谷时间廉价电力制冰蓄冷;
- (2) 防止冰槽冷量的过早耗尽,以至于出现下午峰期供冷不足的现象;
- (3) 防止冰槽过多的残留余冰,造成下次充冷循环的效率降低;
- (4) 尽量缩短制冷机在峰期供冷的时间;
- (5) 尽量防止制冷机在峰期低负荷运行。

3.2 负荷预测

准确预测空调负荷对于蓄冰空调系统的运行是相当重要的。用于预测空调负荷的预测模型是蓄冰空调系统优化运行的有利工具。不同的预测模型得出的结果略有不同。较早的模型是利用每天室外环境温度及温度变化的预报值来确定一天的控制策略。其中常用的预测模型有:时间序列模型、回归模型、神经网络模型等。

1993年 Anstett 和 Kreider 采用人工神经网络(ANN)模型进行负荷预测并用实例作了验证。1995年 Kawashima 采用完全相同的数据对包括 ANN 模型在内的几种预测模型进行比较论证,指出 ANN 预测模型最精确。

(1) ANN 模型简介

ANN 是非线性系统的一种模拟方法,并以分布式存贮和并行协同处理为特色。ANN 处理单元的某个神经元的抽象模型如图 2 所示。神经网络模型是根据人脑的神经组织结构设计和命名的。它具有三层结构,即输入层、隐含层、输出层见图 3。ANN 神经网络的信息处理功能是由神经元的激活特征、网络的拓扑结构、连接权的大小以及神经元的阈值所决定的,神经网络是众多的神经元广泛相应连接而成的^[3]。每层中的每个神经元与上下层各个神经元全连接,模拟人脑神经元之间相互发

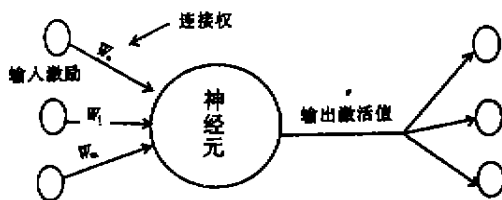


图 2 神经元模型

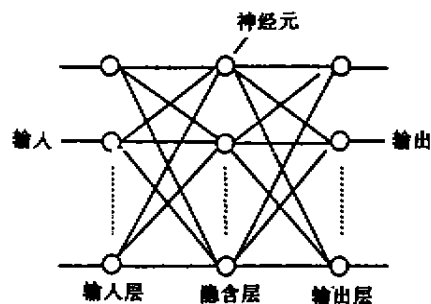


图 3 神经网络结构示意图

出的抑制与激励信息,连接强度由连接值所决定的。输入层的神经元是线性单元,即: $y_i = x_i (i = 1, 2, \dots, n)$, n 为输入层神经元的个数。而每个隐含层和输出层的神经元可以用如下的多输入、单输出单元表示:

$$y_j = f(\sum w_{ij} \cdot x_i) \quad (1)$$

式中 $x_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 和 y_j 分别表示神经元 j 的输入和输出变量。而 $w_{ij} (i = 1, 2, \dots, m)$ 称为 x_i 与 y_j 之间连接权。 y_j 称为神经元 j 的激活值。非线性变换函数 $f(\cdot)$, 即激活函数,有多种形式。通常用的是 Sigmoid 函数,即: $f(x) = 1/(1 + e^{-x})$

(2) ANN 的预测方法

从控制角度看, ANN 所具有的建模非线性系统的能力,即根据已知的输入—输出数据外推预测的能力是神经网络在控制领域中得以广泛应用的主要原因。由于 ANN 具有不需要了解过程的内在机理而捕捉过程输入、输出之间的非线性关系的特性,可以有效地解决非线性系统的多样性问题。因此利用 ANN 对非线性影响因素较多的空调负荷进行外推预测,是一种很好的预测方法。建筑热环境本质上是一个非线性系统,因此可将 ANN 应用于负荷预测。图 4 为用于空调负荷预测的 ANN 示意图^[4]。

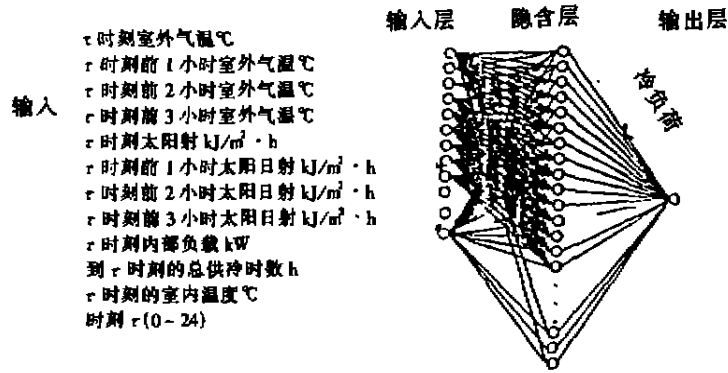


图4 预测空调负荷的ANN图

任何影响负荷的因素均可作为输入激励，图中只给出了几个。其中由于室外气温和太阳日射对空调负荷的影响有一个时间的延迟，故考虑了计算时刻以前的少数几个小时对负荷的影响。为了利用图4的网络模型进行负荷预测，还需要有次日24h内的逐时室外气温和太阳日射。下面就如何获得这些数据作详细介绍。

(3) 室外气温的预测

获得次日天气预报信息(如室外气温的最高、最低值及天气情况)的最简单方法就是从当地的电视、广播或报纸等媒介上提前得到。也可从当地气象中心，即时地获得未来24h气象预报的一些数据。然后可用下式计算出逐时室外干球温度：

$$T_t = T_H - \alpha_t \times (T_H - T_L) \tag{2}$$

式中： T_t — t 时刻的室外气温预测值， $^{\circ}\text{C}$ ；

α_t — t 时刻的气温预测系数；

T_H —天气预报的最高气温， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_L —天气预报的最低气温， $^{\circ}\text{C}$ 。其中， α_t 值列于表1中^[4]。

从表1中系数的分布可知，每天的气温变化范围满足正弦分布规律。

(4) 太阳日射的预测

太阳日射预测的基本依据是天气预报中给出的天气情况。比较典型的天气情况有晴、阴、多云、雨，分别用1、2、3、4来表示。

首先预测次日太阳日射的总量 $Q_{s,d}$ ，可根据下列多项式计算得到：

$$Q_{s,d} = a_0 + a_1 \times T_H + a_2 \times (T_H - T_L) + a_3 \times I_{\text{天气}} \tag{3}$$

式中： $Q_{s,d}$ —每天总的太阳日射， $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ；

$I_{\text{天气}}$ —天气情况(取值为1、2、3或4)；

a_0, a_1, a_2, a_3 —系数。

这四个系数可根据全年供冷季节实测的历史数据，通过对室外气温和天气情况进行线性回归得到。然后预测次日每小时的太阳日射 $Q_{s,t}$ ，预测计算的公式如下：

$$Q_{s,t} = \beta_t \times Q_{s,d} \tag{4}$$

式中： $Q_{s,t}$ — t 时刻的太阳预测值， $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ；

β_t — t 时刻的系数， $\beta_t = 1(1 \sim 24)$ 见表2。

从理论上讲，室外气温的预测值较为准确，而太阳日射的预测与实测值则偏差较大，这是因

表1 每小时的气温预测系数

t 时刻	系数 α_t	t	α_t	t	α_t	t	α_t
0	0.82	6	0.98	12	0.23	18	0.21
1	0.87	7	0.93	13	0.11	19	0.34
2	0.92	8	0.84	14	0.03	20	0.47
3	0.96	9	0.71	15	0.00	21	0.58
4	0.99	10	0.56	16	0.03	22	0.68
5	1.00	11	0.39	17	0.10	23	0.76

为太阳日射受云层的影响很大。有了次日的逐时室外气温和太阳日射的预测值,再利用图 4 所示的 ANN 模型进行空调负荷预测,从而为实现运行控制的优化打下基础。

4 结 语

文中对蓄冰空调系统的负荷预测进行了探讨,提出了采用神经网络模型预测负荷的方法。但要利用全年供冷季节实测的历史数据来回归四个 α_i 系数还需做进一步的工作。并且,采用 ANN 方法得到的预测结果来优化蓄冰空调系统的运行也有待于工程实际的应用和检验。

参 考 文 献

- [1] Minoru Kawashima, Optimizing System Control with Load prediction by Neural Network for an Ice - Storage system[J], ASHRAE Transactions, 1996: 1169 ~ 1178
- [2] F.J. Ferraro. Prediction of Thermal Storage Load Using A Neural Network[J]. ASHRAE Journal, 1990, 8
- [3] 胡守仁,等. 神经网络导论[S]. 长沙:国防科技大学出版社,1992(10)
- [4] D.H. Spethmann, Application Considerations In Optimal Control of cool Storage[J]. ASHRAE Transactions, 1993: 1009 ~ 1015

Load Prediction with Neural Network Method and Operation Optimization of Ice Storage Air Conditioning System

LIU Xian-ying¹ ZHANG Hua-ling²

(1. Faculty of Urban Construction Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, China; 2. Chongqing Architectural College, 400030, China)

Abstract This paper presents some common control strategy of ice storage air conditioning system. It is suggested that the optimization on ice storage air conditioning system should be based on accurate load prediction and the artificial neural network (ANN) modeling for load prediction was presented.

Key Words ice storage air conditioning system; artificial neural network(ANN) modeling; operation optimization