

中央空调蓄冷系统运行优化控制模式

(中国科技大学热科学与能源工程系)

余光宝

刘震炎

丁以虹

[摘要] 对蓄冷空调放冷过程运行技术现状作了概述,分析了其中的不足。利用系统论知识提出数学模型,给出了求解方法及优化结果,并分析了优化运行控制模式的经济性。在此基础上进一步分析探讨了运行优化模型完善和发展思路。

关键词 蓄冷空调 放冷运行 优化控制模式

中图分类号: TU83.31

1 前言

1.1 蓄冷空调系统运行控制模式概述

中央空调蓄冷系统运行控制要解决冷负荷在制冷机直接供冷和蓄冷器放冷之间的分配,在过去的实际工程中常用的运行控制模式有制冷机优先模式,蓄冷器优先模式

1.1.1 制冷机优先模式:根据设计日需求,制冷机每天按预先设定的台数运行,当冷负荷超过预设制冷机满负荷制冷能力时,则启用蓄冷器来补充不足的部分。在工程上多采用这种运行控制模式,它的特点是工程实现简单可靠,不会出现冷量供应不足。但它存在很大的缺陷:其一是在非设计日,蓄冷器利用率低,无法有效削减运行费用;其二是在电网用电高峰时(往往环境温度也较高),由于电网状况以及环境温度对制冷机性能系数的影响,制冷机性能系数较低

1.1.2 蓄冷器优先运行模式:最大限度地利用蓄冷器,用蓄冷器来满足空调负荷;用制冷机来承担不足的部分。用这种模式来保证冷需求的高峰(3 00pm~5 00pm),工程实现较为复杂^[1]。且可靠性不高,极易出现冷量供应不足的状况。

1.2 国外优化运行模式技术发展状况

在这方面,西方学者做了不少开拓性的工作。其中有代表性的是:

1.2.1 DyNastor 软件包应用于计算优化蓄冷控制

模式以适应不同季节和负荷条件,1987年在澳大利亚最大的两个城市 Sydney 和 Melbourne 应用,其效果极佳,大大地降低了空调运行费用,但仅能做根据不同季节优化设计模型的优化,程序计算较复杂^[2]

1.2.2 ISORE 是在 DANABTOR 基础上发展而来的(1989,4),其主要特点是:(A)提取了十来个控制优化原则,放弃了原来的复杂计算。(B)优化了系统尺寸以及调整了峰谷电力需求比例

但它存在较多的缺点,运行中蓄冷器累积平均放冷率为 6%,效果比过去的有所提高,但显然仍不理想^[2]。

1.2.3 Cool Storage Superllsory Controller (CSSC) (1989年,Stethman),其运行结果受蓄冷与直接供冷电价比和是否存在由于冷量不足或剩余的费用处罚两个因素影响。在 Stethman 的另一文献中,用简单的线性优化模型进行了模拟对比,但模型中线性化假设不能成立,且没有考虑制冷机性能随负荷变化和不同时段电网状况和环境温度的影响^[3]。

本文在总结前人工作的基础上,以系统工程最优化法,给出系统运行优化的方法。

2 中央空调蓄冷系统优化运行模式——模型与求解

2.1 基本思想

优化控制是尽量减少高峰制冷机直接供冷,降低高峰运行用电费用,尽可能充分使用蓄冷器蓄积的冷量,提高设备利用率,提高运行经济性。其原则有三:

(1) 在最经济的时刻由蓄冷器放冷;

收稿日期 1996-09-08 收三改稿 1997-04-19

本文联系人 余光宝 男 1971年生 硕士 230027安徽:合肥

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

(2) 用最经济的方式放冷;

(3) 蓄冷器优化运行, 充分利用蓄冷器冷量;

在图 1 中非设计日 b 中, 蓄冷器完全放完冷量, 而制冷机的产冷量比设计日相应减少。阴雨天气 c 中, 蓄冷器承担了全部冷负荷, 制冷机停开。

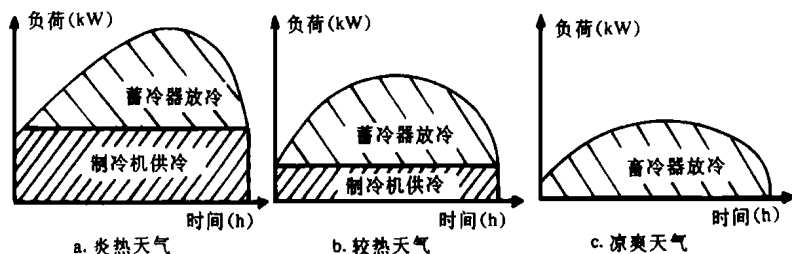


图 1 优化运行模式示意图

表 1 建筑月典型气象条件下的逐时负荷

时刻	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	总负荷
5月	125	140	160	180	190	215	220	230	250	210	190	180	140	2295
6月	140	170	205	240	270	310	340	370	400	340	280	225	165	3305
7月	130	200	250	300	350	405	460	501	520	470	370	283	180	4250
8月	140	190	240	280	340	390	440	480	510	450	360	270	180	4200
9月	130	170	210	260	330	350	400	410	420	400	310	245	160	3900
10月	130	160	190	230	260	290	320	330	340	310	260	200	150	3030
设计日	150	220	275	350	390	450	510	560	600	520	410	310	200	49
$K(i)$	1.0	1.0	1.00	0.95	0.90	0.90	0.90	0.85	0.75	0.80	0.85	0.95	1.0	—

2.2 中央空调蓄冷系统运行优化模型的建立

在中央空调蓄冷系统中, 最关心的是整个运行费用, 它是系统优化的目标。整个问题给出了蓄冷空调工程运行最优化的逐时选择

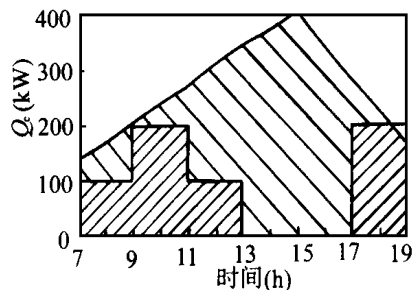


图 2 六月份优化运行模式图

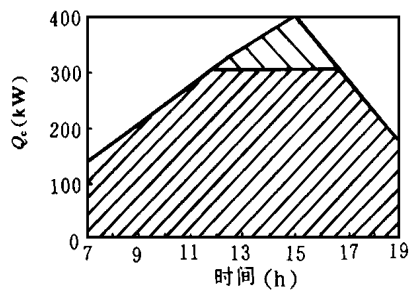


图 3 六月份制冷机优先运行模式图

已知建筑的白天冷需求负荷由两部分提供——蓄冷器放冷和制冷机组直接供冷, 表 1 为建筑在各个月典型平均气象条件下逐时冷量需求, 其中逐时负荷已知, 蓄冷器的总蓄冷量为 2100 kWh (180 万大卡), 其中每个单位的费用为 0.10 元 / kWh 冷量, 其放冷时刻任意

选择。直接供冷机组每组不同放冷价格为 $0.24K(i)$ 元 / kWh。制冷机组共三台, 每台直接供冷放冷量为 100 kW。其中 $K(i)$ 为考虑电网状况和白天气温的变化对制冷机产冷能力的影响 (尤其是风冷冷凝器和工作于电力紧张的电网中, 此项影响很大^[6]), 此处假设每一时刻对应值为定值 $K(i)$ 数据如表 1 中。求最优化运行方式: 任何时刻的直接供冷机组数 $X(i)$ 和任何时刻蓄冷器的放冷量 $Y(i)$

2.2.1 目标函数 (总运行费用最低)

$$\text{即 } \text{Min } CF = \sum_{i=1}^{12} (Y(i) \times 0.10 + 100 \times 0.24 \times X(i) / k(i)) \quad (1)$$

2.2.2 约束条件

(1) 时刻冷量要匹配, 即直供放冷量与蓄冷器放冷量之和为需求量。

$$X(i) \times 100 + Y(i) = Q(i) \quad i = 1, \dots, 12 \quad (2)$$

(2) 蓄冷器总的放冷量限制:

$$\sum_{i=1}^{12} Y(i) \leq 2100 \quad (3)$$

(3) 放冷速率限制:

$$0 \leq Y(i) \quad (4)$$

$$Y(i) \leq Q_{\text{max}}(X) \quad (5)$$

X 为放冷比率, 在此工程中, 对于蓄冷器, 此条件要时刻满足^[5]。

(4) 制冷机台数的限制:

$$0 \leq X(i) \quad (6)$$

$$X(i) \leq 3 \quad (7)$$

制冷机产冷量调节时, 不是线性调节, 因为活塞式制冷机性能系数 COP 改变较大, 调节很不经济 (产冷量变成 50 kW 时, 单位冷量的价格要变成满负荷的两倍多)。故假设制冷机整台投入进行满负荷运行比较合理, 由此得出上述优化模型。

2.3 此模型求解需要条件

2.3.1 负荷预测可参见参考文献 6

2.3.2 制冷机总体性能参数, 在此模型中为 $K(i)$ 值。它受蒸发温度 T_e , 冷凝温度 T_c , 以及电网状况 U 的影响

2.3.3 它的一些约束条件都可以从工程实验中得到, 如蓄冷器放冷能力, 制冷机组数, 蓄冷器总容量, 制冷机每组容量。

以上模型是一个线性混合整数规划问题。可以用分枝定界法求解。求解过程是一个用树形算法不断搜索可行解, 进行线性规划计算^[4]。

3 计算结果及算例和经济性比较

3.1 计算结果图例

图 2 为混合整数优化模型模拟的优化控制模式
下蓄冰空调的运行状况。图 3 为常规制冷机优先运行模式。制冷机设定为三台,冷需求高峰时不足的冷量由蓄冷器放冷承担。这样在设计日负荷正好由三台制冷机和蓄冷器全部蓄冷量来共同承担。如 6 月份优化运行日费用为 529 元,而传统运行费用为 868.2 元

3.2 经济分析比较

一个月运行费用与原来传统比较,如表 2

表 2 各月运行经济性对比

月份	优化运行费(元)	传统运行费(元)	节约百分比(%)
5月	7 870	19 446	59.1
6月	15 870	26 046	39.1
7月	21 283	28 663	25.3
8月	21 661	27 868	23.2
9月	20 400	27 308	25.3
10月	13 570	21 607	48
总计	100 654	150 948	33.2

在上例中,考虑了有 5% 的余量,使优化的经济性更加明显。对于上述蓄冰空调工程,采用优化运行模式,其运行费用可以降低 30% 左右。由上可见,运行优化控制对蓄冷空调系统的经济性影响很大。

参考文献

- 1 Carey C. The control of ice storage system. ASHRAE J. May 1995
- 2 Musgrove D. ISTORE - A model to simulate and optimise the operation of Ice storage system. Int. J. Energy Research, 1990, 14: 199~ 208

(上接第 281 页) 似的诊断结果,则诊断结果比较可信;如果不同推理方法得到的诊断结果相差较大,则需要对诊断结果进一步进行分析,这时可以选择基于模型的诊断结果或可信度较大的诊断结果进行更精密的诊断。

基于案例的诊断推理最接近人类的思维方式,诊断结果易于理解和接受,但容易将表面相似现象看做本质相似,导致误诊断。基于规则的诊断推理能对一类故障迅速作出判断,根据诊断规则能对诊断结果进行解释,对故障提出相应的处理措施,但对规则以外的情况无能为力。基于故障模型的诊断推理能够将深知识和浅知识结合起来使用,对于缺乏案例和诊断经验(规则)的故障能起到预见作用,能够诊断系统中从未发生过的故障,但模型的建立比较困难。采用混合诊断推理的优点是能充分发挥各种诊断方法的优势,克服各自存在的不足,最大限度地

- 3 Stethmann D. Optimal control of cool storage. ASHRAE Trans. 1989. 95(1)
- 4 孙德敏. 工程最优化原理与应用. 中国科学技术大学出版社, 1991
- 5 钱迪顺. 运筹学. 清华大学出版社, 1995
- 6 余光宝. 中央空调蓄冷系统工程最优化. 中国科技大学硕士论文, 1996 (复 编)

新型 B²P 核反应堆设计在建造中

据 “Modern Power Systems” 1997 年 2 月号报道,俄罗斯已在圣彼得堡附近的 Sosnoy Bor 开始了新型核反应堆的建造工作。该核电机组——B²P-640(水水动力反应堆)是基于新设计的水减速反应堆。

俄罗斯原子能部长说,新设计比以前的设计更安全,并强调俄罗斯核电站一直属于世界上最安全之列。

俄罗斯也继续努力改进 B²P-1000 型水水动力反应堆和 B²H-1000 型快中子增殖反应堆。

另一个项目是被称为 HTGR 的直接气体循环核反应堆(高温气冷石墨减速反应堆),也在进行工作,使 KTL-40 反应堆用于破冰船上,作为浮式电站。(思娟 供稿)

找到问题的解。如果在案例推理或规则推理时不成功,则并不象传统诊断系统那样导致推理失败,可立即启动其它诊断模块继续进行推理。

参考文献

- 1 阮跃,徐世昌,黄文虎. 汽轮机故障诊断专家系统的知识获取. 中国电力, 1997, 30(2): 11~ 13
- 2 屈梁生,孟建. 机械故障诊断技术与当代前沿科学. 全国设备诊断技术学术会议论文集,武汉, 1995 9~ 13
- 3 袁楚明,周祖德,胡文彬,余彬海. FM S 智能诊断的信息集成和知识集成. 华中理工大学学报, 1996, 24(4): 36~ 38

作者简介 阮跃,男,1965 年生,1994 年毕业于哈尔滨工业大学,获硕士学位,现为哈尔滨工业大学一般力学专业博士研究生,从事大型旋转机械状态监测和故障诊断专家系统的研制工作,已发表论文十余篇,参编论著一部,获部级科技进步二等奖一项。联系地址: 150001 哈尔滨工业大学 137 信箱 (复 编)

基于信息和知识集成的汽轮机智能诊断 = Intelligent Diagnosis of Steam Turbines Based on Information and Knowledge Integration [刊,中] / Ruan Yue, Sun Guobin, Xu Shichang (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). 280~ 281, 284

After an analysis of the types of symptoms in a steam turbine failure intelligent diagnostic system this paper presents the strategies of diagnostic information integration and a model for diagnostic knowledge integration. Expounded is a mixed reasoning method based on case examples, rules and models. Key words information integration, knowledge integration, intelligent diagnosis, steam turbine

中央空调蓄冷系统运行优化控制模式 = Optimized Control Mode of a Central Air-conditioning Cold Storage System Operation [刊,中] / Yu Guangbao, Liu Zhenyan, et al (China National University of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 282~ 284

The authors present a brief description of the current technical operation level in cold-storage air-conditioning cold discharge process along with an analysis of its deficiencies. With the aid of systemized knowledge proposed is a new mathematical model for an optimized operation. A method for problem solving and also optimized results are given and the economics of an optimized operation control mode is analyzed. On this basis a more detailed analytical study is conducted of the possible approaches for the further improvement and development of the operation optimized model. Key words cold storage air conditioning, cold discharge operation, optimized control, mode

燃气轮机发电机组注蒸汽后温控系统的适应性研究 = A Study of the Adaptability of the Temperature Control system after Gas Turbine Generator Steam Injection [刊,中] / Li Weishun, Lin Feng, Hou Yuhui (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 285~ 287

In connection with a practical machinery unit and through theoretical analysis and off-design condition calculation an analytical study is performed of the adaptability of the gas turbine temperature control system after steam injection. The study results show that following the steam injection the original temperature control system can not only ensure the reliable operation of the gas turbine, but can also contribute to the lengthening of the gas turbine life. Key words steam injection, temperature control system, overtemperature

锅炉单相受热面动态静态特性通用计算方法 = A General Calculation Method for Dynamic and Static Characteristics of Boiler Single-phase Heating Surfaces [刊,中] / Wang Guangjun, Wang Weiran, et al (North-east China Institute of Electrical Power Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 288~ 290

Based on a fluid microelement tracking calculation method the authors have come up with a general method for calculating the dynamic and static characteristics of a boiler single-phase heating surface thermodynamic process. With the help of this calculation model it is possible to not only analyze the dynamic process of the boiler single-phase heating surfaces but also perform the static verification computation of the said heating surface thermodynamic characteristics. In addition, it can also very conveniently determine the dynamic and static distribution status of the boiler single-phase heating surface thermodynamic parameters. Key words boiler, dynamic characteristics, static characteristics, calculation method

采暖锅炉计算机监控、管理系统 = A Computer-based Monitoring and Management System for Heating Boilers [刊,中] / Lu Zehua, Xu Xiangdong, Cao Renfeng, et al (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 291~ 294

The present monitoring system features a convenient quick-action operating platform and a fair man-ma-