

核供热厂热化系数的优化

刘金盛 唐金海

(天津市热力公司)

〔摘要〕 利用较详细的热负荷延时图,以核供热系统单位供热厂热面积净现值为优化目标,对核热化系数进行优化。本文介绍了这一优化方法。

关键词 核供热厂 热化系数 优化方法 经济效益

1 前 言

热化系数是反映核供热系统热源结构的一个重要参数,也是核供系统中最主要的技术经济参数。因为热源容量、热化规模和核供热厂所获得的节煤量都取决于热化系数,合理选择热化系数直接影响核供热工程的经济效益。

从我国几个城市做的核供热预可行性研究报告看,有的未做热化系数优化,有的是与供回水温度及比摩阻一起优化。

本文在研究已知核供热厂一些数据(如功率、基建投资、初装核燃料费、核燃料价格等)时,只考虑热源确定最优热化系数。

2 热需求量的确定

要确定热化系数就要知道整个供热期的热需求量,然而估算一个季节的热需求量非常困难,因为它需要综合整个预测期所有变

化因素的影响。我们以相似建筑物的运行经验为例,采用热负荷延时图方法估计热需求较为可靠。

传导热损失将与室内外温差成正比变化,由于从气象部门可得到小时室外温度,故可以计算累积传导损失。

生活热水耗热和管网损失可做为一个固定值加到传导热损失上。

假设 15 m^2 的房间 30 W 灯泡连续照明,即 $2\text{ W}/\text{m}^2$; 54 m^2 的单元 3 个人连续居住,每人身体散热是 75 W ,即 $4.5\text{ W}/\text{m}^2$; 每个单元烹调估算得到的热量是 $1\ 000\text{ kWh/a}$,折合 $2.1\text{ W}/\text{m}^2$ 。日照获得的热量很难估算,以天津地区为例,按 ASHRAE 手册的方法,估计为 $81\ 000\text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,折合 $7.9\text{ W}/\text{m}^2$ 。我们将从负荷延时图中减去这部分热量,而且在整个供热期除去设计负荷情况外,是一个不变的量,但在计算每年的热消耗量时一定要把它们考虑在内。热负荷延时曲线计算程序是以 lotus 编制的(见表 1)。

收稿日期 1991-12-25 修改定稿 1993-04-30

本文联系人 刘金盛 男 29 助工 300060 天津市河西区体院北滨水道 67 号

表 1 热负荷延时图计算

室外设计温度,℃	-9	←			
室内设计温度,℃	18	←			
传导热损失,W/m ²	65	←			
生活热水负荷,W/m ²	5	←			
管网热损失,W/m ²	2	←			
室内得热,W/m ²	-8.6	←			
太阳得热,W/m ²	-7.9	←			
系统设计热指标,W/m ²	72	←			
供暖期,d	122.10				
年传导热损失,kJ/(m ² ·a)	477 555.52				
年生活热水热损失,kJ/(m ² ·a)	52 747.20	所占比例, %	11.05		
年管网热损失,kJ/(m ² ·a)	21 098.88	所占比例, %	4.42		
年室内得热,kJ/(m ² ·a)	-88 585.23	所占比例, %	-18.55		
年太阳得热,kJ/(m ² ·a)	81 374.80	所占比例, %	-17.04		
年系统供热量,kJ/(m ² ·a)	381 441.57	所占比例, %	79.87		

续表 1

室外温度,℃	-9	-8	-7	-6	-5
出现频率,d	2.88	2.42	3.17	5.29	7.08
延时天数,d	2.88	5.30	8.47	13.76	20.84
单位面积设计基础负荷,W/m ²	72.00	53.09	50.69	48.28	45.87
设计基础负荷所占比例, %	100.00	73.74	70.40	67.05	63.71
累积基础负荷所占比例, %	100.00	98.77	98.48	98.02	97.27

续表 1

室外温度,℃	-4	-3	-2	-1	0
出现频率,d	8.33	11.58	10.71	13.00	11.92
延时天数,d	29.17	40.75	51.46	64.46	76.38
单位面积设计基础负荷,W/m ²	43.46	41.06	38.65	36.24	33.83
设计基础负荷所占比例, %	60.37	57.02	53.68	50.33	46.99
累积基础负荷所占比例, %	96.13	94.54	92.32	89.51	86.00

续表 1

室外温度,℃	1	2	3	4	5
出现频率,d	10.21	9.42	6.71	7.13	12.25
延时天数,d	86.59	96.01	102.72	109.85	122.10
单位面积设计基础负荷,W/m ²	31.43	29.02	26.61	24.20	21.80
设计基础负荷所占比例, %	43.65	40.30	36.96	33.62	30.27
累积基础负荷所占比例, %	81.83	77.11	71.87	66.27	60.28

3 技术参数

3.1 供热规模

供热规模可由供热面积反映：

$$A = Q/q \tag{1}$$

式中：A — 供热系统的供热面积, Mm²;

Q — 供热系统设计热负荷, MW;

q — 系统设计热指标, W/m²;

3.2 热化系数

核供热厂热化系数就是核供热厂设计热负荷占区域设计热负荷的比例：

$$\alpha = NQ_0/Q \tag{2}$$

式中：α — 核供热厂热化系数；

N — 核供热厂中反应堆座数，座；

Q₀ — 反应堆单堆设计容量, MW。

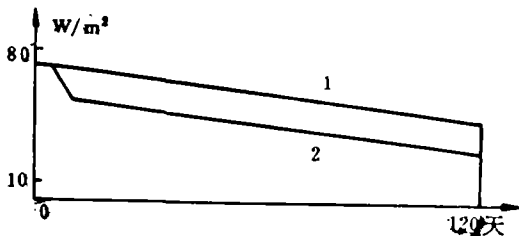


图1 热负荷延时图

1 未考虑得热 2 考虑得热

3.3 调峰热源容量

$$Q_0 = Q - NQ_0 \tag{3}$$

式中：Q₀ — 调峰锅炉房容量, MW。

4 技术经济计算

以单位供热面积净现值作为优化目标函数,净现值对考查工程项目的可取与否有着决定性的意义。净现值的实质就是假定某一贴现率,如果决定建设这一工程项目,无异于建设者的财产中立即增加此量值。同理,如果净现值为负值,则无异于建设者的财产中立即减少此量值。单位供热面积净现值可表示如下：

$$NPV = \left[\sum_{x=1}^m R(1+i)^{-x} - \sum_{y=1}^m K_y(1+i)^{-y+1} - \sum_{x=1}^n C(1+i)^{-x} \right] \times 10^{-2}/A \tag{4}$$

式中：NPV — 核供热系统单位供热面积净现值,元/m²;

R — 年收益,万元/年;

K_y — 建设期第y年的投资,万元;

C — 年运行费,万元/年;

i — 社会贴现率;

m — 工程项目的建设期,年;

n — 计算期,取系统各部分寿命的最小公倍数。

假定投产一开始就达到满负荷,即达产期为零。

中括号内第一项为折算到投产第一年的总收益,第二项为折算到投产第一年的总投资,第三项为折算到投产第一年的总运行费。

下面我们就分别计算。

4.1 年收益

供热系统的年收益可按供热面积计算

$$R = 100SrA \tag{5}$$

式中：Sr — 热价,元/m²。

4.2 投资

核供热厂的基建投资和初装核燃料费可以在做完“核供热站预可行性研究”后得到;调峰锅炉房投资可按线性关系计算：

$$K_p = SQ_p \quad (6)$$

式中: K_p — 调峰锅炉房投资, 万元;

S — 调峰锅炉房投资系数, 万元/MW。

假定核供热工程建设期为3年, 核供热工程热源部分投资流, 即年度投资占总投资的比例见表2。

表2 投资流(%)

核供热厂	第一年	第二年	第三年
120 MW	20	50	30

4.3 年运行费

核供热厂和调峰锅炉房的运行费主要包括: 燃料费、运行电费、维修费、运行人员费。

4.3.1 燃料费

核供热厂的燃料费:

$$C_b = Aq_z P_b \beta \times 10^{-4} / \eta_b \quad (7)$$

式中: C_b — 核供热厂的燃料费, 万元/年;

q_z — 单位供热面积年累积热负荷, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;

β — 累积基础负荷占年累积负荷的比例;

P_b — 核燃料价格, 元/GJ;

η_b — 核供热厂效益。

调峰锅炉房的燃料费:

$$C_p = Aq_z P_p (1 - \beta) \times 10^{-4} / \eta_p \quad (8)$$

式中: C_p — 调峰锅炉房的燃料费, 万元/Y;

P_p — 煤价, 元/GJ;

η_p — 锅炉效率。

4.3.2 运行电费

核供热厂的耗电费:

$$E_b = AL_b q_z p_e \beta / 36 \quad (9)$$

式中: E_b — 核供热厂的耗电费, 万元/年;

L_b — 核供热厂单位产热量耗电率,

P_e — 电价, 元/(kW·h)。

调峰锅炉房耗电费:

$$E_p = AL_p q_z P_e (1 - \beta) / 36 \quad (10)$$

式中: E_p — 调峰锅炉房耗电费, 万元/年;

L_p — 调峰锅炉房单位热量耗电率。

4.3.3 维修费用

核供热厂维修费, 取固定资产形成率为95%有:

$$M_b = 0.95 \varphi_b K_b \quad (11)$$

式中: M_b — 核供热厂维修费, 万元/Y;

φ_b — 核供热厂维修费率;

K_b — 核供热厂基建投资, 万元。

调峰锅炉房维修费:

$$M_p = 0.95 \varphi_p K_p \quad (12)$$

式中: M_p — 调峰锅炉房维修费, 万元/年;

φ_p — 调峰锅炉房维修费率。

4.3.4 运行人员费

核供热厂运行人员费:

$$O_b = S_m N_b \quad (13)$$

式中: O_b — 运行人员费, 万元/年;

S_m — 运行人员平均年工资,

万元/(人·年);

N_b — 核供热厂运行人员数, 人。

调峰锅炉房运行人员费:

$$O_p = S_m N_p \quad (14)$$

式中： O_p —调峰锅炉房运行人员费，
万元/年；

N_p —调峰锅炉房运行人员数，人；
年运行费为上面各项运行费之和。

5 优化示例

我们从完成的“核供热站预可行性研究报告”中理解了我国几种不同容量的供热堆数据见表3。

表3

项目	单位	池式堆	加压池式堆	壳式堆
单堆功率	MW	120	400	200
基建投资	万元	5 436	16 900	10 750
初装核燃料费	万元	3 500	8 100	5 000
初装核燃料量	吨	7.715	26.6	17
燃耗深度	MW·d/T	22 000	29 000	25 000
核燃料价格	元/GJ	2.4*	1.22*	2.1**
地区		天津	齐齐哈尔市	哈尔滨市
计算年份		1991	1987	1988

* 按其前三项计算得到，** 直接摘录。

我们用 lotus 编制了用于优化核供热厂热化系数程序，表4是以在天津采用功率120 MW 的池式堆为例进行的优化。

由于计算中不确定因素的存在，而且随着发展，它们可能发生变化。所以应分析它们发生变化后对热化系数的影响及对经济效果的影响。我们把反应堆变成双堆，其它因素变化30%做得的敏感性分析列于表5。

表5

变化因素		净现值的 增量(%)	热化系数
热价(元/m ²)	12.4	74	0.50
电价(元/(kW·h))	0.30	-1.3	0.50
工资 (万元/(人·年))	0.23	-0.4	0.50
反应堆座数(座)	2	0.7	0.50
社会贴现率(%)	10.4	-39	0.44
单堆基建投资 (万元)	7 067	-12.7	0.44
初装核燃料费 (万元)	4 550	-7.8	0.47
核燃料价格(元/GJ)	3.12	-6.2	0.47
调峰锅炉房投资 (万元/MW)	31.9	-8.9	0.54
煤价(元/GJ)	10.66	-3.1	0.54

从中可以看到：热价、电价、工资和反应堆座数对最优热化系数没有影响，对经济效果的影响由强至弱为热价、电价、反应堆座数、工资，其余对热化系数和经济效果的影响由强至弱为社会贴现率、核堆基建投资、调峰锅炉房投资、初装核燃料费、核燃料价格、煤价，随着贴现率、核堆基建投资、初装核燃料费、核燃料价格的增加最优热化系数变小，随着调峰锅炉房投资和煤价的增加最优化热化系数变大。最优化系数越大说明利用核能越有利，如煤价大约是17倍的核燃料价格时，最优热化系数即为1，然而这是不现实的，所以核供热厂必须加调峰才能使核供热系统经济。

6 结 语

仅从热源角度确定核供热厂最优化系数

表 4 核供热厂系数的优化

系统设计热指标, W/m ²	72	←							
累积热负荷, kJ/(m ² ·a)	381 441.6	←							
热价, 元/m ²	9.5	←							
电价, 元/kWh	0.23	←							
运行人员平均年工资, 万元/人·年	0.18	←							
社会贴现率, %	8	←							
建设期, 年	3	←							
计算期, 年	30	←							
最优热化系数	0.50								
最优供热规模, Mm ²	3.31								
最优调峰锅炉房容量, MW	118								
			核供热工程热源投资流			单位, %			
			容量\年份	第一年	第二年	第三年			
			120MW	20	50	30	←		

	核供热厂数据:				调峰锅炉房数据:				
单堆, 容量, MW	120	←	投资系数, 万元/MW	24.5	←				
基建投资, 万元	5436	←	煤价, 元/GJ	8.2	←				
初装核燃料费, 万元	3500	←	调峰锅炉效率, %	75	←				
核燃料价格, 元/GJ	2.4	←	单位产热量的耗电率, %	1.5	←				
核供热厂效率, %	98	←	维修费率, %	1.5	←				
反应堆座数, 座	1	←	运行人员数, 人	50	←				
单位产热量的耗电率, %	0.6	←							
维修费率, %	1	←							
运行人员数, 人	50	←							

室外温度, ℃	→	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2
设计基础负荷所占比例, %	→	63.71	60.37	57.02	53.68	50.33	46.99	43.65	40.30
累积基础负荷所占比例, %	→	97.27	96.13	94.54	92.32	89.51	86	81.83	77.11
供热面积, Mm ²		2.62	2.76	2.92	3.10	3.31	3.55	3.82	4.14
调峰锅炉房容量, MW		68	79	90	104	118	135	155	178
核供热厂总投资, 万元		8 936	8 936	8 936	8 936	8 936	8 936	8 936	8 936
调峰锅炉房投资, 万元		1 675	1 930	2 216	2 537	2 901	3 317	3 795	4 355
年收益, 万元/年		2 485	2 623	2 777	2 950	3 146	3 970	3 627	3 929
年运行费:									
核燃料费, 万元/年		238	248	258	268	277	285	292	298
燃煤费用, 万元/年		30	45	67	99	145	207	289	395
核供热厂电费, 万元/年		37	39	40	42	43	45	46	47
调峰锅炉房电费, 万元		3	4	6	9	13	18	25	35
核供热厂维修费, 万元/年		52	52	52	52	52	52	52	52
调峰锅炉房维修费, 万元/年		48	55	63	72	83	95	108	124
核供热厂人员费, 万元/年		9	9	9	9	9	9	9	9
调峰锅炉房人员费, 万元/年		9	9	9	9	9	9	9	9
折算到投产第一年的总收益, 万元		27 978	29 526	31 261	33 206	35 416	37 933	40 836	44 230
折算到投产第一年的总投资, 万元		12 299	12 595	12 927	13 299	13 721	14 203	14 757	15 406
折算到投产第一年的总运行费, 万元		4 781	5 177	5 671	6 302	7 094	8 094	9 345	10 894
单位供热面积净现值, 元/m ²		41.66	42.58	43.32	43.82	44.09	44.09	43.83	43.35

较为简便、实用,社会贴现率、反应堆基建投资、初装核燃料费、核燃料价格、调峰锅炉房投资的煤价是影响最优热化系数的主要因素,热价、电价、工资、反应堆座数是影响最优热化系数的次要因素,双堆比单堆的经济效果好,核供热厂的最优热化系数应具体计算确定。

参 考 文 献

- 1 龚云峰等. 齐齐哈尔市核供热站预可行性研究报告简介. 区域供热, 1987(3)
- 2 段蓉蓉译. 法国热核反应堆与区域供热的发展. 区域供热, 1985(1)
- 3 张殿军等. 利用无因次综合公式确定采暖热负荷延续图—按新的《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ19-87)标准, 区域供热, 1990(3)
- 4 刘毓全等. 核电站与燃煤电站的经济性. 水利电力经济研究, 1987(15)

【船机简讯】

CODAG 驱动的高速渡轮

据“Gas Turbine World”1993年1—2月号报道,意大利Rodriquez Cantieri Navali已授予德国MTU Friedrichshafen建造柴燃联合推进装置,用以驱动正在Rodriquez船厂建造的一艘新的100米“Aquastrada”号汽车—旅客渡轮。

该CODAG推进系统包括1台LM2500燃气轮机箱装体和2台MTU 16V 595 TE70型柴油机。在燃用船用分馏油时,LM2500的额定功率为20.5 MW,两台柴油机的总功率为7.13 MW。

计划于1994年投入商业航行,“Aquastrada”号渡轮的总长为101 m,船身最大宽度为14.5 m,排水量为990吨。该船将能运送550名旅客加上20名船员,并且最多可运输120辆汽车。

在柴油机和燃气轮机以额定连续功率联

合工作、满载运送旅客和汽车时,该渡轮的航速高达40节,并提供400海里的续航距离。在略微减少净载重量和注满辅助燃油箱时,可能达到800海里的最大续航距离。

为该渡轮设计的燃气轮机推进装置是专用的轻型机组,它是MTU在美国GE公司的许可下专门为诸如驱动高速渡轮和表面效应船(气垫船和水翼艇)等民船应用而设计的。在相同的外形尺寸下,民用型LM2500推进箱装体约重16吨,较军用型减轻6.5吨。

减重的一个措施是低噪声的减速齿轮箱采用铝合金外壳。其它的措施是减轻了箱装体罩壳和底板的重量,并降低了原先对军用型提出的消除水下噪声特征(防潜艇)的要求。

(学奥 供稿)

design and construction. Taking small and medium-sized circulating fluidized bed boilers of low circulation ratio as examples, the author has made an exploratory study of the furnace lining design, structural layout, selection of suitable materials and construction methods. **Key words:** *fluidized bed boiler, furnace lining, design, construction*

- (250) **Optimization of Thermo-Chemical Factor of a Nuclear Heat supply Plant** Liu Jinsheng, Tang Jinhai (*Tianjin Thermoenergy Company*)

By employing a relatively detailed thermal load time retardation chart with the unit heat supply area net value of the nuclear heat supply system assigned as an optimization objective, an optimization of the nuclear heat supply plant thermochemical factor was conducted. The said optimization method is described in the present paper. **Key words:** *nuclear heat supply plant, thermochemical factor, optimization method*

- (258) **Analysis of a Waste Heat Recovery System Using steam/Immiscible Liquid Binary Working Medium** Zhang Jilin (*Harbin Boiler Works*); Mu Shangjun (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

A relatively systematic analysis and calculation has been performed of the thermodynamic cycle of a steam/immiscible liquid waste heat recovery system. The application of this cycle makes it possible to not only enhance cycle thermal efficiency but also solve sealing problems and the undesirable thermodynamic characteristics associated with the use of an organic working medium cycle. The calculation results are compared with those of a traditional water steam cycle. The authors maintain that the proposed study of the above cycle is necessary and the study results can play a significant role in raising the thermal efficiency of waste heat recovery systems. **Key words:** *waste-heat recovery system, immiscible liquid, binary working medium analysis*

- (264) **On-Line Communication of HP3054A System with PC-Bus Microcomputer** Zhang Ming (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

This paper describes the on-line communication of HP3054A system with PC bus microcomputer SUN286 through the use of IEEE-488 interface card. The author gives a detailed account of the system configuration, hardware connection, GPIB software package and some key points of programming procedures. With the help of the test system based on an on-line communication it is possible to achieve a better performance in data acquisition and processing, thus opening a new avenue for the full utilization of the 3054A system and HP Co. -supplied instruments.

Key words: *IEEE-488 bus, measuring and testing system, PC bus microcomputer, on-line communication, software*