

# 200 MW 机组运行性能诊断的热经济学方法

张晓东<sup>1</sup>, 王加璇<sup>1</sup>, 王清照<sup>1</sup>, 高 波<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学 动力工程系, 北京 102206; 2 北京许继电气有限公司, 北京 100085)

**摘 要:** 在热经济学结构理论的基础上, 讨论了热力系统运行性能诊断的热经济学方法, 以 200 MW 机组热力系统的计算模型为例, 阐述了各部件及产品关系, 建立了系统的热经济学生产模型, 并对故障诊断的方法、故障引起的系统资源消耗增量进行了理论分析和实际计算, 提出了具有较高灵敏度的故障判别指标, 以及反映故障影响的量化指标, 并针对具体算例进行了分析计算。

**关 键 词:** 热经济学; 故障诊断; 结构理论

中图分类号: TK123; TP206 文献标识码: A

## 1 引 言

热经济学诊断是基于热力学第二定律的能量系统运行分析技术, 应用热力学方法来计算热力过程的可用能损, 即火用损。通过火用平衡分析, 可以定量地分析生产过程中不可逆损失的分布并评价各个组元设备对系统整体经济性的影响。

在实际应用中, 并不是所有的不可逆损失都是可以避免的, 因为任何的实际过程都是不可逆的, 技术上可以实现的节能效果必然低于理论上的节能潜力。因此, 热经济学诊断技术需要一个实际可以达到的最佳运行状态作为基准状态。基准状态是综合考虑机组的设计参数、热力实验数据而建立起来的热力系统模型, 表明机组在正常的运行参数和环境参数条件下, 实际可以达到的最佳运行状态。

减少系统中不同组元热力过程的不可逆损失对整个系统的影响也是不同的, 与该组元在能量生产过程中的功能有关。热力系统是一个有机的整体, 组元之间总是相互影响。一个组元功能的改变, 可能源于自身功能的改变, 即所谓的“内源性的改变”, 也可能是受到其它组元功能变化的影响而产生的, 即所谓的“外源性的改变”。因此, 诊断过程应该能够描述组元之间的生产关系, 定量分析组元之间的

相互影响以及组元功能改变对整个系统的影响。

复杂能量系统的热经济学诊断技术对于能量系统的设计优化、生产管理、运行优化和维护维修管理是十分有用的工具。目前在欧洲, 热经济学诊断技术已经有一套规范的方法并逐步与电站的 MIS 系统相结合, 为不同的部门提供有用的信息。在国内, 热经济学诊断技术的研究也很活跃, 并且作为热力系统分析的辅助手段进行了实际尝试, 取得了一定的成果。不过, 热经济学诊断技术还处于发展之中, 尚未形成完善的理论体系。特别是在无故障基准值的确定、组元故障的热经济学判据以及故障模式的建立方面, 仍然是十分活跃的研究领域。

本文对热力系统的热经济学诊断的方法进行了研究, 建立了 200 MW 机组热力系统的热经济学诊断模型, 提出了灵敏度高、易于辨识的故障判别指标, 并对故障所产生的影响进行了定量分析。

## 2 热力系统的生产结构和成本计算

热力系统是由物流和能流联系在一起的诸多设备所形成的有机整体, 系统中功能部件总是要消耗一定的外部资源(由环境或其它部件提供), 并生产一定的产品。在分析系统状态的时候, 要根据热经济学分析的目的选择需要考虑的物流和组元, 确定组元的工作状况及其在整个系统中的功用。组元可以是一个实际的部件, 也可以是几个部件的组合, 一个实际部件也可以划分为多个组元。本文分析的热力系统是 200 MW 三缸三排汽凝汽式机组, 一次再热八级回热, 在分析中将汽轮机划分为多个组元。系统的物理模型可以采用物理结构图来表示, 如图 1 所示。在物理结构图中, 主要表述热力系统物理模型的组元、工质流和能量流。为简洁起见, 图中没有标出轴封汽、门杆漏气等小流量的工质流, 它们将

收稿日期: 2002-07-04; 修订日期: 2002-09-02

基金项目: 国家 973 课题基金资助项目(G2000026307)

作者简介: 张晓东(1969-)男, 辽宁锦县人, 华北电力大学讲师。

在实际计算中加以考虑; 锅炉系统按换热器处理, 并将蒸汽发生器和再热器归并为同一个组元, 汽轮机细分为 9 个组元, 在设计状态下各股蒸汽流的温度  $t$ 、压力  $p$  和比焓  $h$  见表 1。设计状态下的主蒸汽流量 571 t/h。本文热力系统计算采用常规方法计算抽汽量和各个汽轮机组元内的蒸汽流量。在基准运行状态(设计状态)下蒸汽在汽轮机内的膨胀过程见图 2。

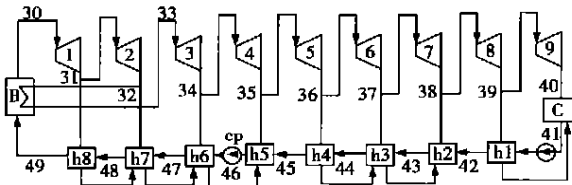


图 1 200 MW 机组热力系统物理结构图

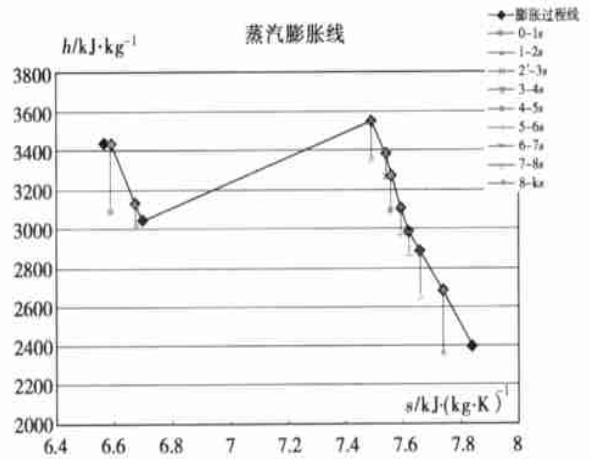


图 2 汽轮机内蒸汽的膨胀过程

表 1 汽轮机主要蒸汽流在设计状态的参数值

物流	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$t/^\circ\text{C}$	532	365.499 9	312.463	535	456	403	317	317	202	99.00	33.617
$P/\text{MPa}$	1.211	0.375	0.247	0.216	0.122	0.08345	0.04286	0.025 1	0.014 78	0.004 57	0.000 52
$h/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	1435	1 111.76	1008.26	1271.68	1 094.22	980.36	798.56	668.71	554.70	336.51	19.28

在热经济学结构理论(Valero 等, 1993)中, 采用了热力系统的生产结构图来描述系统的生产关系。系统的物理结构描述能量系统中各个组元之间的物质和能量交换关系, 而系统的生产结构则描述组元在系统中的生产功能并且包含组元之间的生产关系信息, 即每个组元都接受来自其它组元的产品或外部资源, 生产自己的产品并输送给其它的组元或成为终端产品。热经济学诊断的目标之一, 是以系统的生产结构为基础进行分析, 定量诊断组元功能变化(故障)对系统资源消耗增量的影响。

依据物理结构图提供的信息, 可以建立系统的生产结构图(见图 3)。本文采用热经济学的 LIFO 方法建立系统的生产结构图, LIFO 方法(Tsatsaronis, 1990)是热经济学成本会计法的一种, 其基本的思想是最后进入物流的焓将最先被下游组元使用, 其成本是提

供该股焓流的组元的产品成本。在生产结构图中, 流入部件的总是该部件的燃料  $F$ , 而流出部件的总是该部件的产品  $P$ 。连接组元的燃料/产品流是虚拟的, 和实际的工质流并不完全一致。由于一个组元的燃料可能是多个组元的产品, 而一个组元的产品也可能是其它多个组元的燃料。除了代表实际设备的部件以外, 在生产结构图中引入了两种虚拟部

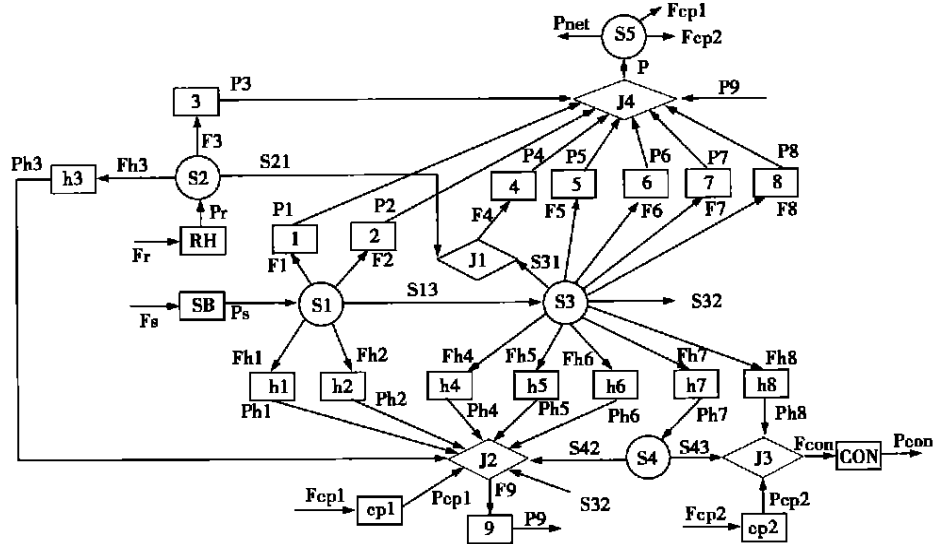


图 3 基于 LIFO 方法的热力系统生产结构图

件: 汇合点  $J$  (用棱形表示) 和分支点  $S$  (用圆形表示)。多个部件的产品在汇合点汇合并成为另一个部件的燃料 (或最终产品); 而在分支点, 一股用流分配给多个其它部件。组元的用平衡关系为:

$$F_j = P_j + I_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中:  $I_j$  为第  $j$  个单元的过程用损,  $n$  为组元, 本例中,  $n = 21$ 。

显然, 虚拟部件不会形成用损。在热经济学结构理论中, 采用组元  $j$  的单位用耗系数  $k_j$  作为该部件的特征方程:

$$F_j = k_j \times P_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

在本例中, 锅炉的燃料为输入锅炉的燃煤的化学用, 产品为工质流经锅炉的用增; 汽轮机组元的燃料为蒸汽流经该组元的用降, 产品为汽轮机组元的输出功, 忽略机械损失时, 即为入、出口蒸汽的焓差; 换热器的燃料为热流体流经换热器的用降, 产品为冷流体流经换热器的用增。

汇合点的特征方程为各股输入流所占的相对份额; 分支点的特征方程为输入流等于各股输出流之和。在确定了各个部件的特征方程的基础上, 利用结构理论的链式求导法则, 可以确定各股用流的平均成本  $k^*$ , 其定义为:

$$k_{F,j}^* = \left. \frac{\partial F_c}{\partial F_j} \right|_{\text{特定的系统状态}}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$k_{P,j}^* = \left. \frac{\partial F_c}{\partial P_j} \right|_{\text{特定的系统状态}}$$

本例中在基准状态和所分析的状态各个组元的单位用耗系数、各股产品流的用成本见表 2。

### 3 热力系统的矩阵分析

在热力系统的生产关系中, 一个生产过程组元的产品可能输入到几个其它组元作为其燃料, 设第  $i$  个组元的产品  $P_i$  中流入第  $j$  个组元的数量为  $P_{ij}$ , 定义产品分配系数  $k_{ij}$  为:

$$k_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_j} \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (4)$$

式中:  $P_{0j}$  表示外界对第  $j$  个部件输入。

显然,  $k_j = \sum_{i=0}^n k_{ij}$ 。第  $j$  个部件的产品直接输出到环境的部分 (终端产品或损失) 为  $P_{Sj}$ 。  $k_{ij}$  表明了系统中产品的分配流向关系:

$$P_j = P_{Sj} + \sum_{i=0}^n k_{ji} \cdot P_i \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

写成矩阵的形式有:

$$P = P_s + |KP|P \quad (6)$$

式中:  $P_s (n \times 1)$  为系统中各个组元的终端产品向量,  $P (n \times 1)$  为各个组元的产品向量。  $|KP| (n \times n)$  是由产品分配系数  $k_{ij}$  为元素的矩阵。由此可以将产品向量表示为:

$$P = (UD - |KP|)^{-1} \cdot P_s \quad (7)$$

式中:  $UD (n \times n)$  为单位阵。外界对系统的总输入可以表示为:

$$F_c = \sum_{i=0}^n k_{0i} \cdot P_i = Ke' \cdot P \quad (8)$$

$Ke (n \times 1)$  是由  $k_{0i}$  组成的向量, 称为单位资源分配向量。另外, 根据式 (1) 和式 (2), 可以写出部件的不可逆用损失向量为:

$$I = (K_D - UD) \cdot P \quad (9)$$

式中:  $K_D (n \times n)$  是以部件单位用耗系数  $k_j$  为对角元素的对角矩阵。

### 4 组元运行故障的热经济学诊断

热力系统运行诊断的主要目标是发现故障, 确定故障产生的部件并对故障的影响进行定量分析。在热经济学中, 故障的影响归结为系统生产等量产品时资源消耗量的增量或系统不可逆用损失的增量。

采用上节介绍的方法, 在通过热力试验、在线测量或仿真模型获得参数数据之后, 可以计算各个生产过程的不可逆用损失。当系统中组元的功能发生改变的时候, 必然引起该组元不可逆用损失的变化。为了进行故障诊断和分析, 有必要建立系统的基准运行状态, 在实际应用中, 基准状态应该是基于设计参数或热力试验数据的基准计算模型, 可以给出通常运行工况和环境参数条件下的实际可以达到的最佳运行状态。本文中是以设计状态作为基准运行状态的。

当热力系统运行参数出现扰动, 组元出现内部故障或由于设备老化引起功能衰退时, 必然反映为设备单元单位用耗系数的变化和相应的不可逆用损失的变化, 附加的不可逆用损失为:

$$\Delta I = I - I^0 \quad (10)$$

尽管各股用流的单位用成本增量或设备单元的过程用损失增量包含一定的故障信息, 但由于设备单元之间是相互联系的, 某一个单元的故障不仅引起自身不可逆用损失的变化, 也同时影响着其它单元的不可逆用损失发生变化, 因此作为故障判断

并不完善。而设备组元的单位焓耗系数反映设备单元自身的输入输出特性, 其变化量  $\Delta k_j$  受其它单元的影响相对较小, 可以作为故障判据之一。本例中,  $\Delta k_j$  的具体数值见表 2。由表 2 可以初步判断汽轮机组元 2 的能量转换效率有所下降。不过, 由于单位焓耗系数本身的变化幅度较小, 不同功能的组元之间产生相互影响的幅度也不相同, 因此该指标表现并不明显。

实际上, 由式(9)可得:

$$\Delta I = \Delta K_D \cdot P^0 + (K_D - UD) \cdot \Delta P \quad (11)$$

式(11)表明, 设备单元的不可逆焓损失的增量包括两个部分, 第一部分是由于该设备单元的单位焓耗系数改变而形成的, 可称为内源不可逆焓损失增量; 第二部分则是由于该设备单元的输出增加引起的, 表明下游设备单元的故障或系统功率改变对该设备单元不可逆焓损失增加的影响, 称为外源的不可逆损失增量。各个设备单元的内源不可逆焓损失增量  $MI_j$  和外源可逆焓损失增量  $DI_j$  可以分别表示为标量的形式:

$$MI_j = \Delta k_j \cdot P_j^0 \text{ 和 } DI_j = (k_j - 1) \cdot \Delta P_j \quad (12)$$

$j = 1, 2, \dots, n$   
由于  $MI_j$  可以准确反映设备单元自身运行特性变化, 在一定程度上排除了其它设备单元的影响, 因此适合于作为设备故障的判据。和  $\Delta k_j$  相比,  $MI_j$  不

仅反映了单位焓耗系数的变化, 同时考虑了设备在系统中的权重, 作为比较、判别的指标也更为合理。为了更容易进行识别, 笔者建议采用基于  $MI_j$  的内源不可逆焓损失增量相对指标  $M_j$  作为故障判据, 即:

$$M_j = \frac{MI_j}{I_j^0} \times 100 \quad (13)$$

本例中各项不可逆焓损失见表 3, 由表中数据可知,  $M_j$  对于设备功能的变化具有很高的灵敏度, 可以明显地看出组元 2 的能量转化效率低。实际上, 本例中的故障是汽轮机组元 2 的相对内效率降低了一个百分点。

### 5 故障影响分析

和基准状态相比, 热力系统运行时燃料输入的增量可以表示为(见式(8)):

$$\Delta F_c = F_c - F_c^0 = \Delta K e' \cdot P^0 + K e' \cdot \Delta P \quad (14)$$

如果系统的输出不变, 即  $\Delta P_s = 0$ , 则上式的结果即为故障的影响, 但通常系统的运行状态会发生改变,  $\Delta F_c$  中包括负荷变化产生的系统输入变化。由式(6)可得:

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta |KP| \cdot P^0 |KP| \cdot \Delta P \Rightarrow \Delta P = ((UD - |KP|)^{-1})(\Delta P_s + \Delta |KP| \cdot P^0) \quad (15)$$

由式(14)和式(15)可得:

表 2 生产单元的产品成本、单位焓耗系数及其变化量

	$k_p^*$	$k_{j0}^*$	$\Delta k_p^*$	$k_j$	$k_j^0$	$\Delta k_j$	$100 \times \Delta k_j / k_j^0$
SB	2.2014	2.2014	0.00000	2.20142	2.20142	0.00000	0.00000
RH	2.1163	2.1167	-0.00039	2.11635	2.11674	-0.00039	-0.01848
1	2.4029	2.4029	0.00000	1.09152	1.09152	0.00000	-0.00003
2	2.3633	2.3486	0.01473	1.07355	1.06686	0.00669	<b>0.62721</b>
3	2.3078	2.3083	-0.00043	1.09048	1.09048	0.00000	0.00000
4	2.2900	2.2897	0.00028	1.05568	1.05568	0.00000	0.00000
5	2.3284	2.3284	0.00000	1.05768	1.05768	0.00000	0.00000
6	2.3504	2.3504	0.00000	1.06767	1.06767	0.00000	0.00000
7	2.4510	2.4510	0.00000	1.11339	1.11339	0.00000	0.00000
8	2.4523	2.4523	0.00000	1.11398	1.11398	0.00000	0.00002
9	2.9574	2.9574	0.00008	1.11016	1.11016	0.00000	0.00000
h1	2.4444	2.4444	0.00000	1.11036	1.11036	0.00000	0.00000
h2	2.5609	2.5606	0.00023	1.16328	1.16318	0.00010	0.00893
h3	2.5144	2.5149	-0.00046	1.18810	1.18810	0.00000	0.00004
cp1	2.9206	2.9192	0.00133	1.18563	1.18563	0.00000	0.00000
h4	2.7462	2.7462	0.00001	1.24748	1.24748	0.00000	0.00025
h5	2.7527	2.7527	0.00000	1.25041	1.25041	0.00000	-0.00015
h6	2.6032	2.6032	-0.00003	1.18250	1.18252	-0.00001	-0.00119
h7	2.9208	2.9209	-0.00010	1.32677	1.32682	-0.00005	-0.00356
cp2	3.1581	3.1566	0.00143	1.28205	1.28205	0.00000	0.00000
h8	4.9756	4.9756	-0.00002	2.26019	2.26019	-0.00001	-0.00036
con	4.4399	4.4398	0.00012	1.66667	1.66667	0.00000	0.00000

表 3 不可逆用损失的变化和故障对系统燃耗的影响

组元	$I/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$I^0/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\Delta I/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$M/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$DI/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$M/\%$	$DF_1/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$DF_2/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\Delta F_c$
SB	1452.113 1	1452.113	0.00000	0.000 00	0.000 00	0.00000	2.41041	0	2.410 41
RH	262.5649	263.172 9	-0.60795	-0.092 21	-0.515 74	-0.03504	-1.08372	0	-1.083 72
1	27.105 43	27.105 51	-0.00008	-0.000 10	0.000 02	-0.00036	0.00987	-0.009 46	-0.000 41
2	6.711 97	6.17092	0.54104	<b>0.617 63</b>	-0.076 59	<b>10.00873</b>	-0.04053	-2.420 48	-2.461 01
3	13.090 92	13.09048	0.00044	0.000 00	0.000 44	0.00000	0.00482	0.006301	0.011 12
4	5.098 38	5.09820	0.00017	0.000 00	0.000 17	0.00000	0.00303	0.004146	0.007 18
5	8.263 74	8.26348	0.00027	0.000 00	0.000 27	0.00000	0.00481	0.006 01	0.010 82
6	6.616 68	6.61647	0.00021	0.000 00	0.000 21	0.00000	0.00332	0.004135	0.007 45
7	9.071 57	9.07128	0.00030	0.000 00	0.000 30	0.00000	0.00283	0.003595	0.006 43
8	16.659 66	16.65906	0.00060	0.000 04	0.000 57	0.00022	0.00518	0.007021	0.01220
9	21.921 27	21.92052	0.00075	0.000 00	0.000 75	0.00000	0.00851	0.011672	0.020 18
h1	4.781 61	4.78161	0.00000	0.000 00	0.000 00	-0.00001	-0.00362	0	-0.003 62
h2	7.582 98	7.57816	0.00483	0.004 83	0.000 00	0.06367	-0.00407	0	-0.004 07
h3	6.459 03	6.45901	0.00002	0.000 02	0.000 00	0.00023	-0.00295	0	-0.002 95
cp1	3.547 32	3.54732	0.00000	0.000 00	0.000 00	0.00000	-0.00191	0	-0.001 91
h4	3.989 82	3.98964	0.00018	0.000 05	0.000 13	0.00125	-0.00008	0	-0.000 08
h5	4.601 78	4.60167	0.00011	-0.000 03	0.000 15	-0.00075	-0.00009	0	-0.000 09
h6	2.249 98	2.25008	-0.00010	-0.000 17	0.000 07	-0.00774	-0.00004	0	-0.000 04
h7	4.764 15	4.76467	-0.00051	-0.000 69	0.000 18	-0.01446	0.00012	0	0.000 12
cp2	0.037 07	0.03707	0.00000	0.000 00	0.000 00	0.00000	-0.00001	0	-0.000 01
h8	10.214 56	10.21427	0.00028	-0.000 07	0.000 35	-0.00064	0.00000	0	0.000 00
con	5.623 14	5.62295	0.00019	0.000 00	0.000 19	0.00000	0.00000	0.001285	0.001 29
系统							1.3159	-2.385 8	-1.0699

$$\Delta F_c = DF_1 + DF_2$$

$$DF_1 = \Delta Ke' \cdot P^0 + Ke' \times ((UD - |KP|)^{-1}) \cdot \Delta |KP| \cdot P^0 \quad (16)$$

$$DF_2 = Ke' \cdot ((UD - |KP|)^{-1}) \Delta P_s \quad (17)$$

其中,  $DF_1$  是由于系统运行特性改变引起的资源消耗增量, 即故障引起的附加燃料消耗;  $DF_2$  则是由于系统输出改变引起的资源消耗增量。因此,  $DF_1$  是评估故障影响的量化指标, 依据输入资源量化方式的不同, 可称为故障附加燃耗或故障附加成本。本例各个组元的  $DF_1$ 、 $DF_2$ 、 $\Delta F_c$  见表 3, 对于整个系统来讲, 由于输出改变引起的输入变化为 -378.5 kW, 故障附加燃耗为 208.8 kW, 而当前运行状态的燃料量变化为 -169.7 kW。

## 6 结 论

能量系统运行性能诊断的热经济学方法可以全面地描述系统的状态和系统中各生产组元之间的相互影响, 对设备的故障具有比较高的灵敏度, 特别适合于复杂热力系统的分析。本文以 200 MW 机组热力系统的计算模型为例, 建立了热力系统热经济学生产模型, 对故障诊断方法进行了研究, 提出了判别

故障的指标——内源不可逆用损失增量相对指标  $M_f$ , 以及评估故障的量化指标——故障附加燃耗或故障附加成本  $DF_1$ , 并针对具体算例进行了计算。本文讨论的热经济学故障诊断模型具有物理概念明确、判断准确程度高和便于现场实施的优点, 可以作为复杂能量系统故障诊断和系统运行性能评估的有效手段。

## 参考文献:

- [1] ANTONIO VALERO, LUIS CORREAS. Thermo-economic diagnosis of energy plants[A]. EURO Summer Course on Sustainable Assessment of Clean Air Technologies[C]. 2001.
- [2] ANTONIO VALERO, LUIS SERRA, JAVIER UCHE. Fundamentals of thermo-economics[A]. EURO Summer Course on Sustainable Assessment of Clean Air Technologies[C]. 2001.
- [3] 王清照, 张晓东, 王加璇. 用结构理论分析燃气轮机热电联产的热经济性[J]. 华北电力大学学报, 2000, 27(4): 75-78.
- [4] 杨勇平, 郭民臣, 刘文毅, 等. 能量系统故障诊断的热经济学模型[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(1): 9-12.
- [5] 王加璇, 王清照, 张晓东. 热经济学的近期发展及其结构理论[J]. 华北电力大学学报, 2000, 27(4):
- [6] TORRES G VALERO A, SERRA L. Structural theory and thermo-economic diagnosis. Part I: On Malfunctions and Dysfunction Analysis [A]. ECOS 99[C], 1999.

( 辉 编辑 )

fuzzy mathematics

热力系统传感器故障检测的动态神经网络方法 = **A Dynamic Neuron Network Method for Sensor Failure Detection in a Thermodynamic System** [刊, 汉] / MA Tao, XU Xiang-dong (Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3) . — 237 ~ 239

A nonlinear time-dependent thermodynamic system status is analyzed with a fault-detection and diagnostic method being carried out by a dynamic neuron-network status observer. Through the simulation tests conducted on a hot-water boiler model by the use of a time-delay neuron network and dynamic recursive neuron network it is shown that the thermodynamic system sensor detection and diagnostic method based on the above-mentioned observer is feasible. After a comparison of the simulation test results one can see that the time-delay RBF (radial basis function) network has a relatively good potential for further widespread applications. The use of the above method in an automatic control system of Qingdao Gas Co. has confirmed its reliability. **Key words:** dynamic neuron network, failure detection

200 MW 机组运行性能诊断的热经济学方法 = **Thermoeconomic Method for the Performance Diagnosis of a 200MW Power Plant** [刊, 汉] / ZHANG Xiao-dong, WANG Jia-xuan, WANG Qing-zhao, et al (Power Engineering Department, North China Electric Power University, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3) . — 240 ~ 244

On the basis of a thermoeconomics structure theory discussed is a thermoeconomic method for the operation performance diagnosis of a thermodynamic system. With the thermodynamic system calculation model of a 200MW power plant serving as an example the fuel/product relation of constituent elements is expounded and the thermoeconomics production model set up. After a theoretical analysis and practical calculation of the increase in system resource consumption caused by a failure proposed are indexes of relatively high sensibility for failure discrimination. A quantized index for reflecting the impact of failures is also given while analytical computations are performed with regard to some specific cases. **Key words:** thermoeconomics, failure diagnosis, structure theory

一种基于低品位热源的 LNG 冷能回收低温动力系统 = **A Cryogenic Power System for Recovering LNG (Liquefied Natural Gas) Cooling Energy Based on a Low-grade Heat Source** [刊, 汉] / WANG Qiang, LI Yan-zhong, CHEN Xi (Institute of Refrigeration and Cryogenics Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3) . — 245 ~ 247

On the basis of analyzing physical cold exergy of LNG (liquefied natural gas) the authors have proposed a low-grade heat source-based cryogenic power system for recovering LNG cooling energy. An investigation was conducted of the relevant parameters having an impact on the system cycle efficiency. The results of the investigation show that under a relatively low heat-source temperature the thermal and exergy efficiency of the system may attain in excess of 30%. From an analysis of the cycle-influencing main parameters it is ascertained that the condensing temperature of secondary cooling medium exercises a very great influence on the cycle efficiency. With the increase in evaporation temperature and the decrease in condensation temperature there will be an enhancement of both the cycle thermal efficiency and exergy. **Key words:** low-temperature heat source, liquefied natural gas, cooling energy recovery, power system

一种基于联合动力装置的船舶电力推进原动机模块 = **A Combined Power Plant-based Prime-mover Module for Marine Electric Propulsion** [刊, 汉] / JIANG De-song, XIE Chun-ling, SUN Yu-feng (Power Engineering Department, Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy