

船舶柴油机排气余热动力回收方案的决策方法研究

蒋祖星

(广州航海高等专科学校 轮机系, 广东 广州 510725)

摘 要: 针对某具体机型提出了几种船舶柴油机排气余热动力回收利用方案, 并依据一定的评价指标, 采用层次分析法, 解决了船舶柴油机排气余热动力回收方案的决策问题。

关键词: 余热; 方案; 层次分析法; 船舶柴油机

中图分类号: U664.5

文献标识码: A

船用废气涡轮增压柴油机排气余热约占燃料总发热量的 30% 左右, 且排气温度较高, 热能品质也较高, 其中焓约占动力装置总能量的 10% 以上^[1]。对于万吨级船舶柴油主机, 一般在 50% 负荷以上时, 排气能量除供应涡轮增压器外, 还可用来发电, 即采用余热动力发电机组以解决航行中所需电能, 剩余的低质余热通过回收可满足供热的需要^[5]。

不同机型的船用柴油机, 其排气流量和排气温度不同, 即余热的数量和品质不同, 用能设备及能耗也不同。根据“按质供能, 使供求能质匹配”的原则, 在考虑余热回收方案时, 不仅数量上要满足供需平衡, 而且能质上也要匹配, 保证“热尽其用”。目前船上已使用的各种排气余热动力回收方案很多, 影响方案决策的因素也很多。如何权衡各方面因素的利弊, 做出科学合理的决策, 系统工程理论中的层次分析法为解决这一问题提供了一种定性与定量分析相结合的科学方法。

层次分析法 (analytical hierarchy process, AHP), 就是将复杂问题中的各种因素, 通过划分为相互联系的有序层次, 使之条理化, 根据对客观现实的判断就每一层次相对重要性给予定量表示, 利用数学方法确定表达每一层次相对重要次序的权值, 并通过排序的结果解决问题的一种决策分析方法。下面以

一特定类型船舶柴油机余热动力回收利用方案的决策为例说明这一方法的应用。

1 评价指标的确定

一般常以余热回收利用率来反映余热动力回收装置的经济性好坏, 但这只是从能量回收的数量上考察。从能质匹配的原则来看, 还必须采用焓分析的方法来评价余热利用方案的合理性。因为基于热力学第二定律的焓分析法可以从能量的品质上反映哪些余热可回收和利用什么样的方式回收最合理。考虑余热回收方案时, 还必须考虑余热回收设备初投资及维护管理费用等因素。因此, 可将余热动力回收利用方案的评价指标选定为: 系统余热利用率、焓效率、装置投资回收期 and 可靠性。余热回收利用率和焓效率分别从余热回收的数量和质量两方面说明余热回收方案的合理性, 投资回收期反映了方案的整体经济性能, 可靠性包括维修操作方便性、设备故障率和负荷变化的适应性等因素。

2 余热动力回收方案设计

余热动力回收方案的设计, 一方面要考虑柴油

收稿日期: 2006 - 04 - 06

基金项目: 广州航海高等专科学校校级科研基金资助项目 (K200512002)

作者简介: 蒋祖星 (1968 -), 男, 副教授, 主要从事船舶动力装置节能、热力设备优化等方向的教学与研究。

机排气温度、排气流量、余热锅炉排烟温度(受锅炉尾部受热面低温腐蚀的限制),即余热资源的数量和品质;另一方面还要考虑船舶工况稳定性、供热和供电的需求量及稳定性.对不同机型和不同船型可设计多种不同方案.下面以实例说明.

某 16 000 t 散装煤矿船,采用 6ESDZ76/160 型柴油机,85% MCR,功率 6 250 kW,排气流量 64 320

kg/h,排气温度 315 ,余热锅炉排烟温度 160 ,全船需热量 765 kW(夏季 460 kW),需电量 320 kW(冬季 380 kW).设计 3 种余热动力回收方案:方案 1,不设经济器的简单余热动力回收方案,如图 1(a)所示;方案 2,设有经济器的(同时回收部分增压空气余热)余热动力回收方案,如图 1(b)所示;方案 3,单段双压余热动力回收方案,如图 1(c)所示.

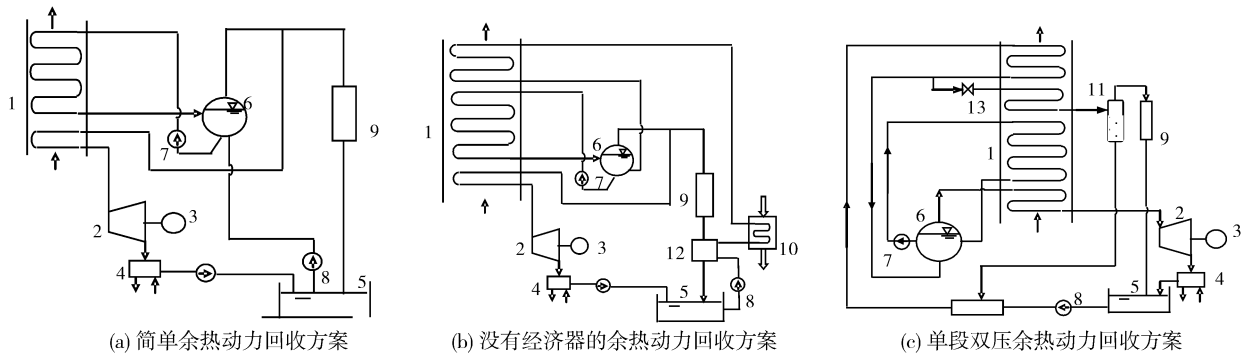


图 1 船舶柴油机余热动力回收方案热线图

1 - 废气锅炉; 2 - 汽轮机; 3 - 发电机; 4 - 冷凝器; 5 - 热水井; 6 - 汽包; 7 - 循环泵; 8 - 给水泵; 9 - 热用户; 10 - 增压空气预热器; 11 - 汽水分离器; 12 - 热交换器; 13 - 阀

3 层次分析模型的建立

层次分析模型是定性表示系统各构成要素间的层次关系和各层要素间相互制约及关联情况的模

型,一般分为目标层、中间层(策略层或准则层)和底层(方案层、措施层).根据前述评价指标和方案设计,可建立柴油机余热动力回收方案决策层次结构模型,如图 2 所示.

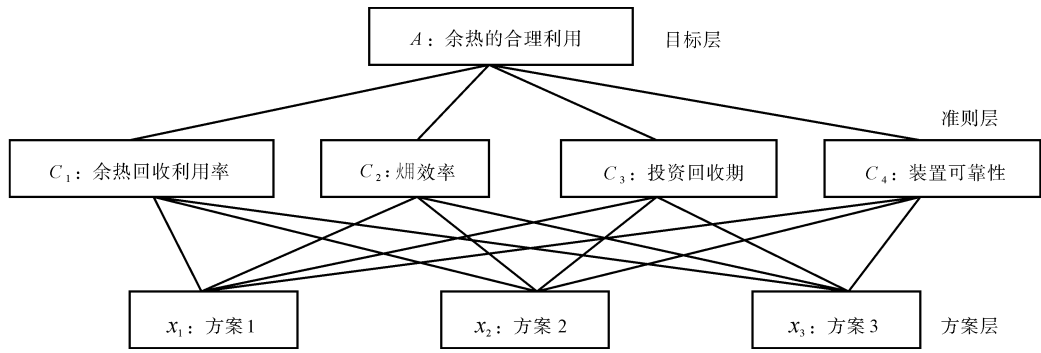


图 2 船舶柴油机余热动力回收方案决策层次结构模型

4 判断矩阵的建立及一致性检验

层次分析的信息主要是对每一层中各因素的相对重要性做出的判断,这些判断通过引入合适的标度进行量化,即可得到判断矩阵.它表示相对于上一层的某个准则,本层次有关因素两两之间的相对重要性.这里采用层次分析法创始人 Satty 的“9 标度法”建立判断矩阵,即用 1~9 及其倒数共 17 个数作为标度来确定判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 的各元素,例

如: x_i 比 x_j 重要,则 $a_{ij} = 5$,反之, x_j 比 x_i 重要,则 $a_{ji} = 1/5$.具体含义如表 1 所列.

表 1 9 标度法的含义

a_{ij}	含义
1	x_i 与 x_j 同样重要
3	x_i 比 x_j 略微重要
5	x_i 比 x_j 重要
7	x_i 比 x_j 重要得多
9	x_i 比 x_j 绝对重要
2, 4, 6, 8	介于上述相邻判断尺度中间

对船舶柴油机余热动力回收方案的决策,应用上述层次结构模型,可建立如下 5 个判断矩阵.

A - C	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₁ - x	x ₁	x ₂	x ₃
C ₁	1	2	3	5	x ₁	1	1/3	1/3
C ₂	1/2	1	4	5	x ₂	3	1	2
C ₃	1/3	1/4	1	2	x ₂	3	1/2	1
C ₄	1/5	1/5	1/2	1				

C ₂ - x	x ₁	x ₂	x ₃	C ₃ - x	x ₁	x ₂	x ₃	C ₄ - x	x ₁	x ₂	x ₃
x ₁	1	1/2	1/3	x ₁	1	3	6	x ₁	1	4	5
x ₂	2	1	1	x ₂	1/3	1	2	x ₂	1/4	1	2
x ₂	3	1	1	x ₂	1/6	1/2	1	x ₂	1/5	1/2	1

判断矩阵仅仅是专家对实际情况做出的主观判断的数值矩阵,一般来说,这种判断不一定是准确的,必须对其一致性进行检验.设有 1 个 n 阶判断矩阵 A, λ_{\max} 为其最大特征根, W 为对应于 λ_{\max} 的正规化向量 (即本层所有元素对上层而言的重要性排序结果),则 Satty 提出的一致性检验指标为 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$.

对高阶判断矩阵, Satty 还提出了随机一致性检验指标 CR, 其定义为 $CR = CI / RI$, 这里 RI 为随机一致性指标修正值, 主要取决于判断矩阵的阶数. 检验结果要求 $CR < 0.1$. 最大特征根、特征向量的计算及 RI 值的查取参见参考文献 [1] 或 [2]. 上述 5 个判断矩阵的计算结果如表 2 所列. 计算结果显示, 所给判断矩阵均满足一致性检验条件.

表 2 判断矩阵有关参数的计算结果

判断矩阵	特征向量 W	最大特征根 λ_{\max}	CI	RI	CR
A - C	[0.319, 0.485, 0.123, 0.073] ^T	4.056	0.019	0.90	0.0208
C ₁ - x	[0.140, 0.528, 0.332] ^T	3.052	0.026	0.58	0.0450
C ₂ - x	[0.169, 0.388, 0.443] ^T	3.017	0.008	0.58	0.0150
C ₃ - x	[0.666, 0.222, 0.112] ^T	3.000	0.000	0.58	0.0000
C ₄ - x	[0.684, 0.200, 0.116] ^T	3.025	0.012	0.58	0.0212

5 总排序结果

层次总排序是指某一层次的所有元素对于最高目标层的重要性权值,依次沿递阶层次结构由下而上逐层计算,即可计算出最底层 (方案层) 相对最高目标层的相对优劣的排序值. 表 3 所列为前述余热动力回收方案决策问题的层次总排序结果.

表 3 余热动力回收方案总排序表

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	层次 x 的总排序 W
	0.319	0.485	0.123	0.073	
x ₁	0.140	0.169	0.666	0.684	0.258
x ₂	0.528	0.388	0.222	0.200	0.398
x ₂	0.332	0.443	0.112	0.117	0.344

6 结论与分析

通过 AHP 法分析可知,方案 2 为最优. 进一步分析可知该方案具有以下特点.

(1) 相对于方案 1, 方案 2 增加了一个经济器来回收烟气的热量, 在一定的锅炉出口排烟温度下必然要提高蒸发器出口处的废气温度, 这样可使相

同窄点温差条件下的蒸发压力提高, 有可能适当提高蒸汽参数, 使发电量和余热回收率均较方案 1 有较大提高.

(2) 方案 3 是为了进一步降低排烟温度和提高蒸汽压力, 针对方案 2 提出的改进方案. 用于全船加热和生活杂用的蒸汽, 除燃油雾化加热器外, 一般无需高压蒸汽. 方案 3 采用低压蒸汽作加热用, 这样一方面满足船上低压加热蒸汽用量的要求, 另一方面可在保证窄点温差的条件下, 提高做功蒸汽的压力和温度, 合理地利用了不同品质的排气余热, 具有较高的烟效率. 但该方案的初始投资较大, 可靠性较低, 只有主机废气余热较少时 (废气锅炉排烟温度降到 160℃ 以下时), 该方案在能量回收率及烟效率上才有明显的优越性, 一般适用于深度余热回收的船舶或回收功率用于船舶推进的中、大型船舶 [4].

(3) 方案 2 虽然采用了经济器并回收部分增压空气的余热, 使蒸汽压力有所提高, 但由于余热锅炉窄点温差的限制, 不可能采用很高的蒸发压力 (否则就必须增大余热锅炉的排烟温度或换热面积),

(下转第 14 页)

参考文献

- [1] 江彦桥. 海洋船舶防污染技术 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000.
- [2] 钟铨锴. “威望”号事故离我们有多远 [J]. 中国海事, 2003 (1): 24 - 27.
- [3] 李 凯, 饶滚金. “威望”号给我们防溢油带来的思考 [J]. 中国海事, 2003 (5): 22 - 25.
- [4] 郭海鹏, 雷孝平. 人为因素在船舶对环境影响力的作用 [J]. 世界海运, 2003 (6): 44 - 45.
- [5] 王建军. 遵守船舶报告制度, 完善安全管理体系 [J]. 世界海运, 2002 (5): 19 - 20.

CAUSES AND COUNTER MEASURES OF THE MARINE POLLUTION BY SHIP ACCIDENT

ZHANG Chun-hua¹, LIU Chuan-nan²

(1. Department of Navigation, Guangzhou Maritime College, Guangzhou, 510725, China;

2. Academic Division, Guangzhou Maritime College, Guangzhou 510725, China)

Abstract: Based on the analysis on a series of major marine pollution accidents happened in the past few decades, the authors holds that the human factors and the deficiencies of the ship and her structures are the major causes of the accidents, and thus provides some countermeasures to prevent the pollution and protect the marine environment

Key words: ship accident; pollution; countermeasure

【责任编辑 杨 跃】

(上接第 11 页)

其余热回收率及烟效率都不可能很高。

(4) 由上述分析可知, 采用 AHP 法进行船舶柴油机余热动力回收方案决策是可行的、合理的。通过进一步拓展评价指标和备选方案, 还可反映出企业或设计者更多的个性化需求。判断矩阵不一定要求完全精确 (但需符合客观规律和一致性判据), 因为它给出的只是一个相对权重值, 只要不影响正常判断即可。可见这一方法不仅简单易行, 而且具有较大的灵活性。

参考文献:

- [1] 任文江. 船舶动力装置节能 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1991.
- [2] 《轮机工程手册》编委会. 轮机工程手册 (中册) [M]. 北京: 人民交通出版社, 1994.
- [3] 吴祈宗. 系统工程 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [4] 黄贯虹, 方 刚. 系统工程及应用 [M]. 广州: 暨南大学出版社, 2005.
- [5] 姚寿广. 船舶热力系统分析 [M]. 北京: 科技出版社, 2003.

RESEARCH ON THE DECISION OF THE METHOD WASTE HEAT RECOVERY OF SHIP DIESEL ENGINES

JIANg Zu-xing

(Marine Engineer Department of Guangzhou Maritime College, Guangzhou 510725, China)

Abstract: The article suggests a few schemes for the recovery and utilization of waste heat for a certain type marine diesel engines. And based on a specific assessment standards, it solve the problem how to decide on a formula for the recovery of waste heat of marine diesel engines by means of the analytical hierarchy process

Key words: waste heat; scheme; analytical hierarchy process; marine engineer

【责任编辑 何永红】