

大型火电站高压加热器可靠性增长模型验证及预测

曹先常¹, 钟志强¹, 蒋安众¹, 史进渊²

(1. 上海交通大学 能源系, 上海 200240; 2. 上海发电设备成套设计研究所, 上海 200240)

摘要:文中提出了大型火电站高压加热器可靠性增长模型, 详细讨论了该模型的参数估计和拟合检验。根据电力可靠性管理中心统计数据, 说明了该模型完全符合被统计的高压加热器可靠性增长变化趋势。分析结果也说明了通过改正, 产品设计和制造中的缺陷, 提高运行人员的素质和操作水平, 改善设施及运行状况, 产品的可靠性将得到逐步提高。

关键词:高压加热器; 可靠性; 增长模型; 预测

中图分类号: TM611; TM924.2 文献标识码: A

1 引言

大型火电站高压加热器(简称“高加”)的停运将影响机组出力的大小。国产 300 MW 机组高加停运限制机组出力 20 MW, 同时机组热耗约增加 430 kJ/(kW·h)。导致高加停运的因素很多, 如长期的水位运行、检修工艺不良、控制元件老化和阀门泄漏。电站辅机的发展过程是事故逐步减少、质量逐步提高、设备逐步完善、可靠性逐步增长的过程。高压加热器可靠性的主要评价指标是等效可用系数 EAF, 国内外目前还关于高压加热器的 EAF 的增长模型。机械和电力行业的制造和使用部门希望通过采取改进和完善措施来减少强迫停运时间, 以增长发电设备的可靠性。因而研究高压加热可靠性增长模型是一项有益而且十分必要的工作。

2 高压加热器可靠性增长模型

2.1 高压加热器可靠性增长模型的建立

根据研究表明^[1], 可修复系统的累积故障强度或失效率与累积试验的时间在双对数纸上接近一条直线, 即:

$$\ln C(t) = \ln \gamma + \alpha \ln t \quad (1)$$

其中: γ 为尺度参数; α 为增长率; t 为时间; $C(t)$ 为时间间隔 $[0, t]$ 内的累积故障强度或失效率的均值。

由上式可以得到:

$$C(t) = \gamma t^\alpha \quad (2)$$

式(2)是最早的可靠性增长 Duane 模型。根据上述模型, 可以建立火电站高压加热器的可靠性增长模型, 如下:

$$\rho(t) = \eta t^{-\beta} \quad (3)$$

其中: η 为尺度参数; β 为增长率; t 为时间; $\rho(t)$ 为时间间隔 $[0, t]$ 内检修系数的均值。

目前, 我国用来评价电站高压加热器的可靠性主要统计指标之一是等效可用系数^[2] EAF:

$$EAF = \frac{AH - EUNDH}{PH} = \frac{1}{1 + \rho} \quad (4)$$

其中: AH —可用小时; $EUNDH$ —降低出力等效停运小时; PH —统计期间小时; ρ 检修系数。

由于加热器运行时, 其设计和制造缺陷得到改进, 运行人员的水平提高, 其运行状况得到不断的改善, 从而等效可用系数随着可用时间的延长而增加, 因而等效可用系数 $EAF(t_i)$ 和检修 $\rho(t_i)$ 系数都是关于时间 t_i 的函数。结合上式可以得到:

$$\rho(t_i) = \frac{1 - EAF(t_i)}{EAF(t_i)} \quad (5)$$

结合式(3)和式(5), 从而建立了火电站高压加热器的可靠性增长模型。

2.2 高压加热器可靠性增长模型的参数估计

由模型公式(3)可以得到:

$$\ln \rho(t_i) = \ln \eta - \beta \ln t_i \quad (6)$$

对于式(6), 令 $y = \ln \rho(t_i)$; $x = \ln t_i$; $\alpha = \ln \eta$; $b = -\beta$ 。则有: $y = \alpha + bx$ 。

根据大型火电站高压加热器的等效可用系数可靠性统计数据, 可以得到 t_i 和 $\rho(t_i)$ 的 n 对观测数据, 即 $(t_i, \rho(t_i)) (i = 1, 2, \dots, n)$, 从而得到 (x_i, y_i) 的系列数据, 运用最小二乘法, 得到 a, b 的统计值如下:

$$b = L_{xy}/L_{xx}; \alpha = \bar{y} - b\bar{x}$$

式中, 上标“ \sim ”表示统计值;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i;$$

$$L_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2;$$

$$L_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y};$$

故可靠性增长模型的参数估计为:

$$\beta = -b; \eta = e^a \quad (7)$$

2.3 高压加热器可靠性增长模型的拟合检验

建立可靠性增长模型后, 需要检验该模型, 验证其可靠性统计数据是否符合双对数线性关系, 按照概率与数理统计原理, 计算检验统计量^[3]:

$$F = \frac{b \cdot L_{xy} \cdot (n-2)}{L_{yy} - b \cdot L_{xy}} \quad (8)$$

其中: $L_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2;$

在给定的显著性水平 α 下, 查 F 分布上侧分位数 $F_{\alpha}(1, n-2)$, 当 $F > F_{\alpha}(1, n-2)$ 时, 接受式(3)的可靠性增长模型, 否则拒绝式(3)的可靠性增长模型。

2.4 高压加热器可靠性增长预测

结合式(3)和式(5), 通过可靠性模型的参数估计, 可以得到加热器的 EAF 的点估计值, 表示为:

$$EAF(t) = \frac{1}{1 + \eta t^{-\beta}} \quad (9)$$

根据现场统计数据, 结合该模型确定模型中参数 η, β 的数值, 从而能够根据式(9)预测加热器的可靠性增长趋势。同时, 根据文献[3], 预测电站高压加热器的双侧置信区间 $[EAF_L(t_i), EAF_H(t_i)]$ 的计算公式近似如下:

$$EAF_L(t_i) = [1 + \eta t_i^{-\beta} F_{\alpha/2}(2m, 2m)]^{-1};$$

$$EAF_H(t_i) = [1 + \eta t_i^{-\beta} F_{(1-\alpha/2)}(2m, 2m)]^{-1};$$

其中: $EAF_L(t_i)$ 为 EAF 的置信下限; $EAF_H(t_i)$ 为 EAF 置信上限; α 为显著性水平; $(1-\alpha)$ 为置信度; m 为加热器统计台数。

3 可靠性增长实例分析

3.1 高压加热器可靠增长分析结果

以电力可靠性管理中心统计的 2000 年 200 兆瓦及以上容量火电机组主要辅助设备运行可靠性指标的数据中高压加热器的数据(1996 至 2000 年)为例^[4], (见表 1)。运用前 4 年(1996 至 1999 年)的数据对模型中参数进行估计, 最后一组数据保留作为模型预测结果比较的对象。通过上述模型计算, 可以得到:

表 1 200 MW 以上容量火电机组高压加热器 1996 ~ 2000 年 EAF 的统计值和预测值比较 ($m = 837$)

年份	1996	1997	1998	1999	2000
t_i (运行年, 年)	10	11	12	13	14
$EAF(t_i)$ (实际值%)	88.723 0	90.472 0	90.916 0	91.642 0	92.059 0
$EAF'(t_i)$ (实际值%)	88.991 8	90.069 7	90.970 6	91.733 7	92.387 4
相对误差(%)	0.302 956	0.444 709	0.060 091	0.100 083	0.356 738
EAF_H (下限, %)	88.017 2	89.178 9	90.151 9	90.977 3	91.685 4
EAF_L (上限, %)	89.896 2	90.894 6	91.727 6	91.482 0	93.034 7
参数估计值	$\beta = 1.207 490 \quad \eta = 1.994 604$				
拟合检验结果	$F = 36.882 726, F > F_{\alpha}(1, 2) = 18.512 821$ 故接受该增长模型。				

$\beta = 1.207 490, \eta = 1.994 604, F = 36.882 726$, 并查表可得: $F_{0.05}(1, 2) = 18.512 821$ 。因为 $F > F_{0.05}(1, 2)$, 故 200 MW 机组高压加热器可靠性增长符合式(3)的模型, 从而可以得到 200 MW 机组高压加热器可靠性增长模型为:

$$EAF(t_i) = \frac{1}{1 + 1.994 6024 t^{-1.207 490}}$$

从表 1 可以计算出等效可用系数的实际值 $EAF(t_i)$ 和预测值 $EAF'(t_i)$ 的相对误差 $\delta = \frac{|EAF'(t_i) - EAF(t_i)|}{EAF(t_i)} \times 100\%$ 的最大值小于 0.5%。如果按照 1996 年到 1999 年电站高压加热器的等效可用系数的增长规律, 到 2000 年等效可用系数的预测值为:

$$EAF(14) = \frac{1}{1 + 1.994 604 \times 14^{-1.207 490}} \times 100\% = 92.387 4\%$$

而 2000 年实际统计数值为 92.059 0%, 相对误差为 0.36%。高压加热器的可靠性增长趋势用图形表示见图 1。

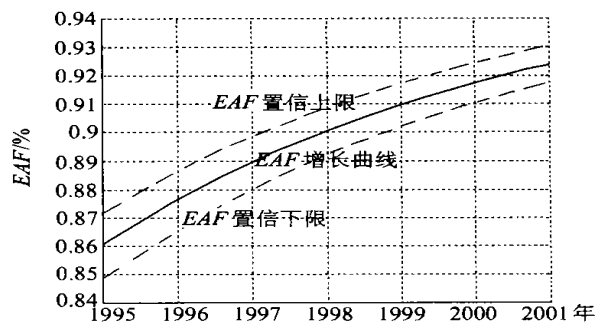


图 1 高压加热器可靠性增长曲线

3.2 分析和讨论

从以上分析可以看出, 电站高压加热器的可靠性呈增长趋势, 其主要原因是发电厂加强了加热器的运行维护, 管理部门采取了更为有利的措施:

(1) 改进运行及维护: 严格的按照要求进行检修, 根据爆漏部位决定堵管根数, 避免堵管管束及周围管束因检修工艺而再次发生爆漏; 损坏的部件要及时更换。严格按照标定的高压加热器运行水位进行控制, 保证高加疏水存在一定的过冷度; 控制高加启停温度变化率。总结运行的经验, 制定合理的设备管理措施。

(2) 电力部门实施可靠性管理, 电力部门从 1984 年起开展电力可靠性管理工作, 从电力系统的规划、设计、设备选用、安全施工、运行维护、检修、改造、人员培训等方面入手来改善电力设备的可靠性。从 1994 年起, 电力部门每年召开新闻发布会, 定期公布电力设备的可靠性指标, 对提高电力设备的可靠性起到了推动作用, 对提高火电站高压加热器的可靠性作出了应有的贡献。

4 结 语

通过以上分析, 可以得到:

(1) 本文作者提出的可靠性增长模型符合大型火电站高压加热器的可靠性增长规律。

(2) 要提高加热器运行可靠性, 除了要提高加热器本身设计、制造质量外, 运行及维护方式也至关重要。通过本文的分析, 机械和电力行业的制造和使用部门采取的可靠性完善和改善措施是有效的, 使得 200 MW 以上的火电站加热器的可靠性呈增长趋势。

(3) 电站高压加热器在大型火电站中被广泛使用, 其运行可靠性对发电厂的稳定运行至关重要。因此利用历史运行可靠性数据所得的可靠性增长模型, 可以预测加热器未来几年内的可靠性增长趋势。

参 考 文 献:

[1] 周源泉. 质量可靠性增长与评定方法[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.
 [2] 电力可靠性管理中心. 发电设备可靠性评价规程(暂行)[R]. 北京: 国电可靠性管理中心, 1997.
 [3] 史进渊. 大型火电机组可靠性的增长模型和现场验证[J]. 中国电机工程学报, 2000 20(2): 39-41.
 [4] 电力可靠性管理中心. 2000 年 200 兆瓦及以上容量火电机组主要辅助设备运行可靠性指标[R]. 北京: 国电可靠性管理中心, 2000.

(渠 源 编 辑)

(上接第 392 页)

0.4 MPa; 油泵出口平均流量 28 m³/h; 油系统油温 37 ~ 60 °C; 测速泵进口油压分别为 0.04, 0.06, 0.08 MPa。

6.4 试验曲线如图 5 所示

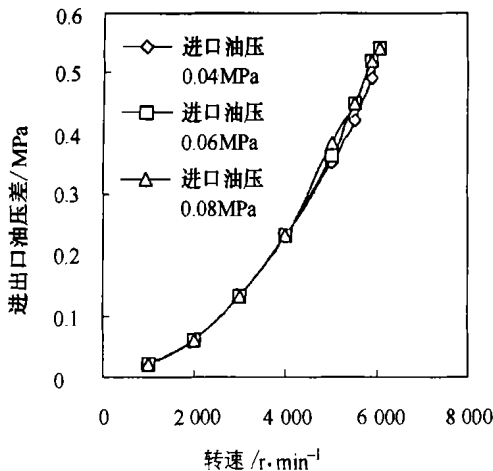


图 5 进出口油压差—转速关系曲线

6.5 试验结论

从试验曲线中可以看出, 测速泵在不同的转速

下, 其进出口油压差随转速增加而增加, 并趋于平稳。在不同的进口压力下, 其进出口压差基本一致, 也就是进口油压对压差的影响不大, 正好符合压差与转速平方成正比的关系; 还进行了超速试验, 即 6 050 r/min 连续运行 30 h, 检查密封环无磨损, 证明了该结构的合理性。

7 结 论

通过计算比较和试验证明, 采用浮动式密封结构的测速泵, 具有结构简单密封效果好, 缝隙漏油量稳定等特点。浮动式密封结构经过长时间运行无磨损, 而原片式密封因磨损导致间隙过大, 超速保护失效。该研究从根本上解决了原片式密封因漏油量过大而引起的油压过低问题, 而且浮动式密封在结构上易于实现。该研究也为改造船用测速泵提供了可靠的理论和试验依据。

参 考 文 献:

[1] 沈阳水泵研究所, 中国农业机械化科学研究院. 叶片泵设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.

(渠 源 编 辑)

speed-measuring pump with a floating type seal construction and reliable conclusions obtained. All the above has provided a theoretical and experimental basis for the improvement of an overspeed protection device for a main steam turbine. **Key words:** main steam turbine over-speed protection, speed-measuring pump, seal, test

寒区太阳能—土壤源热泵系统太阳能保证率的确定 = **Determination of the Solar Energy Assurance Factor of a Solar Energy - Ground Soil-source Heat Pump System in Frigid Regions** [刊, 汉] / YU Yan-shun, LIAN Le-ming (Department of Architectural Thermal Energy Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 393 ~ 395

In frigid regions the use of solar energy and ground soil-source heat as a low-level heat source of heat pumps is of great significance from the perspective of environmental protection and the development and utilization of new and renewable energy sources. The authors have for the first time put forward the concept of ground-soil temperature restoration rate of the ground soil-source heat pump system under different ratios of operation/shutdown. With the above-cited restoration rate serving as an index the restoration degree of ground soil temperature field is evaluated of the ground soil-source heat pump under various operation/shutdown ratios. On this basis, the optimum operation/shutdown ratio of the said heat pump and solar energy assurance factor were identified, and thereby the capacity of solar energy heat-collection device was determined. **Key words:** frigid region, solar energy - ground soil-source heat pump, solar energy assurance factor, ground soil temperature restoration rate

大型火电站高压加热器可靠性增长模型验证及预测 = **Verification of a Reliability Enhancement Model and its Prediction for High-pressure Heaters at a Large-sized Thermal Power Plant** [刊, 汉] / CAO Xian-chang, ZHONG Zhi-qiang, JIANG An-zhong (Department of Energy Sources, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240), SHI Jin-yuan (Shanghai Power Equipment Design and Research Institute, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4). // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 396 ~ 398

A reliability enhancement model is proposed for high-pressure heaters at a large-sized thermal power plant along with a detailed discussion of the model parameter estimation and fitting inspection. According to the statistics data of Electric Power Reliability Management Center the model fully conforms with the reliability-enhancement change tendency of high-pressure heaters under statistical evaluation. The results of analysis also indicate that the reliability of the heaters has been gradually enhanced through the introduction of such measures as eradication of defects in product design and fabrication, enhancement of personnel quality, improvement of operational level, production facilities and operating conditions. **Key words:** high-pressure heaters, reliability, growth model, prediction

移动—流化型组合阀工作特性的研究 = **A Study Concerning the Test of the Operating Characteristics of a Shifting-fluidized type of Combination Valve and Its Model** [刊, 汉] / ZHANG Jing-yuan (Power Engineering Department, Taiyuan Electric Power High Technical School, Taiyuan, China, Post Code: 030013), YE Gui-zhen (Guangdong Provincial Electric Power Test Research Institute, Guangzhou, China, Post Code: 510006) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 399 ~ 401, 413

A shifting-fluidized type of combination valve is a kind of novel non-mechanical valve for transporting solid-particle raw materials. The key technique affecting its operating characteristics involves the provision of a sort of slackening air at the bottom of the shifting bed. The present paper mainly focuses on an experimental investigation regarding the provision of the slackening air device and a mathematical model for calculating raw material flow rate. **Key words:** valve, slackening air, non-Newton fluid

获取知识的一种新方法——粗糙集(Rough Set) = **“Rough Set” as a New Method of Machine Self-learning** [刊, 汉] / DONG Cai-feng, WANG Tian-yu (Aerospace Institute under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 402 ~ 404

A difficult issue encountered during the diagnosis of rotating machine failures consists in the acquisition of diagnostic