

电站锅炉非计划停运时数分配不等性分析

朱建宁 (南京电力专科学校)

【摘要】 本文提出了单元机组(或设备)非计划停运时数分配不等性分析的统计模型——非计划停运状态分布特性曲线和不均匀系数,并使用该模型计算了华东电网48台100 MW以上单元机组和对应的锅炉设备的非计划停运时数分配的不均匀系数,以此对该电网非计划停运时数分配不等性的程度作出了判断。

关键词 电站锅炉 非计划停运 时数分配 不等性 统计模型

1 问题的提出

大型火电单元制机组因事故而造成的非计划停运是一个涉及到电网安全经济的大问题。目前对发电设备的运行可靠性以单元机组或单元机组组成设备的事故次数和累计非计划停运时数作为评价指标,由于单元机组的强迫停运有一半是因为锅炉引起的^[1],据此认为锅炉是单元机组的薄弱环节,实际上锅炉事故次数较多是与由多种原因引起的设备缺陷、运行条件之恶劣及运行技术水平等多种因素密切相关的,而事故发生后停运状态的长短则取决于事故的性质和抢修的条件等。因此评价锅炉运行的可靠性不但要承认锅炉事故次数较多这个客观存在,同时还必须对非计划停运状态的不等性在“度”上进行把握和控制,理由在于:如果不同事故所造成的停运时间是绝对平等的,就会产生单纯依赖强化运行管理而减少事故次数的思想,从而不利于激发提高设计、制造、安装和检修质

量的积极性;如果停运时数分配过分不平均,不同性质的事故造成的停机状态差距太大,则必然导致从理论上提高认识,从实践上进行技术改造,以加强防范事故的能力。事实上,不同容量等级的锅炉设备由不同性质事故而造成的非计划停运状态是有差异的,如何缩小这种不平等的差距,找到不同性质事故与停运时间之间的规律性,以利于电网的可靠调度,从理论上对一定时间内锅炉设备因不同事故而造成的非计划停运时数分配不等性作定量的分析,无疑对电网的安全经济具有一定的实际意义。

本文提出对单元机组非计划停运时数分配不等性分析的统计模型——发电机组(或设备)非计划停运状态分布特性曲线和不均匀系数,并使用该模型对华东电网1982年1月至1987年12月48台100 MW以上的单元机组和对应的锅炉设备的非计划停运时数分配不等程度进行了测量,从而定量地分析了锅炉设备的可靠运行程度及对单元机组运行安全性的影响。

收稿日期 1992-04-11 修改定稿 1992-05-15

本文联系人 朱建宁 男 40 讲师 210013 南京北京西路74号

2 非计划停运状态分布特性曲线和均匀系数

非计划停运按部颁方法分为以下五类：第一类为机组急需立即停运；第二类为机组虽不立即停运，但需在六小时内停运；第三类为机组可延迟至六小时以后，但要在七十二小时内停运；第四类为机组可延迟至七十二小时以后，但要在下一次计划停运前停运；第五类为计划检修因故超过原计划工期的延长停运。据此设： X 为事故发生后在不超过某一时间间隔内需停运的次数 m 占两次计划检修期内非计划停运次数 N 的比重， $X = m/N$ ； y 为事故发生后在不超过某一时间间隔内停运的小时数 t 占两次计划检修期内非计划停运总时数 F 的比重， $y = t/F$ 。

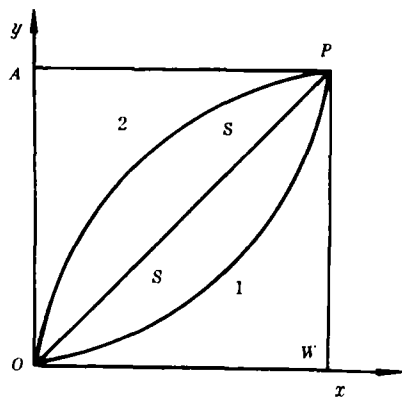


图 1

由于 x, y 的最大值都是 1, 所以如图 1 所示, 图形 OAPW 为一正方形。在对角线 OP 上, $y = x$, 即事故次数比重等于停运时数比重, 这说明所有事故所造成的非计划停运时间是相等的, 因而定义直线 OP 为“绝对平等线”; 折线 OWP 表示两次计划检修期内非计划停运时数只由一种类型的事故性质所造成, 其它种类的事故次数所造成的停运时数

为零, 该线定义为“绝对不平等线”; 而折线 OAP 则表示计划检修因超过原计划工期的延长停运, 即按部颁分类方法所确定的第五类非计划停运, 因而该线定义为“绝对无事故线”。

根据统计规律, 一般非计划停运状态分别属于两极端线(OP 和 OWP 或 OP 和 OAP) 之间, 如图上曲线 O1P 和 O2P 所示。当曲线用数学模型表示时, $y = f(x)$, 此曲线称为发电机组(或设备)非计划停运状态分布曲线。

图中的曲线 O1P、O2P 就是非计划停运状态分布曲线: 曲线 O1P 上凹, 说明非计划停运时数特别长和特别短的事故次数是少数, 大多数事故造成的停运状态差别不大; 曲线 O2P 下凹, 说明非计划停运时数主要是由在较短时间内急需停机的事故所造成。对不同容量等级的单元机组或不同种类的设备具体可以用什么样的函数式表达, 须根据实际情况进行曲线拟合才能得出。

曲线 $f(x)$ 能直观、形象地描述单元机组(或设备)由不同性质的事故所造成的非计划停运时间的不等情况。非计划停运状态分布曲线与绝对平等线越接近, 因事故造成机组非计划停运时间的不等程度就越小, 越有利于电网调度; 反之差距就越大, 不利于电网的控制。

不均匀系数是建立在曲线 $f(x)$ 基础上用来表明事故造成机组非计划停运时间分配不等程度的系数, 它是指曲线 $f(x)$ 与绝对平等线 OP 围成的弓形面积 S 与三角形 OWP 的面积 D 之比, 用 G 表示。

$$\because \text{三角形的面积 } D = 1/2,$$

$$\therefore G = S/D = 2S$$

从图可以看出, 事故性质分布曲线离绝对平等线越远, 不均匀系数就越大, 说明由事故造成的非计划停运时间的不等程度就越大。

弓形面积 S 是三角形 OWP 的面积与曲边三角形 OWP 面积之差。曲边三角形的面积可用曲线方程 $f(x)$ 在区间 $[0, 1]$ 上的定积分 $\int_0^1 f(x)dx$ 导出。因此： $G = 2S = 2[1/2 - \int_0^1 f(x)dx] = 1 - 2\int_0^1 f(x)dx$ 。当曲线分别为 O1P 和 O2P 时， G 取正值或负值。

3 华东电网单元机组和对应锅炉设备非计划停运时数分配不等性分析

鉴于不同容量等级的单元机组在非计划停运时数分配上存在着较大差异，因此根据文献[1]的统计分析资料，将不同容量等级的

单元机组和对应的锅炉设备的非计划停运时数分别进行分析，以真实地反映锅炉的非计划停运状态对电网安全的影响。

表 1 是华东电网 48 台 100 MW 以上单元机组在 1982 年 1 月至 1987 年 12 月间按 300、200、125(包括 110、120、125)和 100 MW 四个容量等级划分的发电机组非计划停运状态统计表。从表中可以看出，从 100 MW 到 300 MW 这四个容量等级中非计划停运时数的变化趋势：事故性质严重需立即停机的次数占事故总次数的比重显著增加，事故性质较轻可暂缓停机次数的比重显著减少。出现两头比重增减，中间比重变化不大的趋势，反映了当前单元机组事故的规律性。

表 1 单元机组非计划停运状态统计表

		第一类	第二类	第三类	第四类
100 MW (3 台)	事故次数比重	0.089 55	0.149 25	0.626 87	0.134 33
	停机时间比重	0.095 26	0.195 19	0.578 75	0.130 80
125 MW (31 台)	事故次数比重	0.279 50	0.212 77	0.354 93	0.152 80
	停机时间比重	0.205 06	0.252 02	0.446 29	0.096 63
200 MW (7 台)	事故次数比重	0.297 78	0.271 11	0.351 11	0.080
	停机时间比重	0.355 74	0.214 25	0.380 33	0.049 68
300 MW (7 台)	事故次数比重	0.439 81	0.250	0.273 15	0.037 04
	停机时间比重	0.431 39	0.268 85	0.259 20	0.040 56

根据表 1 的数据进行逐步累加，便可得到单元机组非计划停运状态分布特性曲线的累计事故次数比重 x 和累计停运时数比重 y ，如表 2 所示。使用表 2 中的数据选用几种曲线方程分别拟合，最终选定比较合适的曲线为：

$$y = f(x) = ax^b$$

利用表 2 中数据进行计算，得到不同容量等级单元机组具体非计划停运状态分布曲线方程如下：(通过计算相关系数从 100 MW 到 300 MW 机组依次为 0.997、0.992、0.996、0.

998，表明曲线拟合程度相当好)。

$$100 \text{ MW} \quad y = 1.022X^{0.956}$$

$$125 \text{ MW} \quad y = 1.061X^{1.258}$$

$$200 \text{ MW} \quad y = 0.993X^{0.87}$$

$$300 \text{ MW} \quad y = 1.004X^{1.018}$$

$$\text{不均匀系数 } G = 1 - 2 \int_0^1 f(x)dx = 1 - 2$$

$\int_0^1 ax^b dx = 1 - \frac{2a}{b+1}$ ，代入不同的 a, b 值，得各单元机组不均匀系数如表 3 所示。

表 2 累计事故次数比重和累计停运时数比重

		事故后立即 停机	事故后六小时 内停机	事故后七十二 小时内停机	下次检修计划 前停机
100 MW (3 台)	<i>x</i>	0.089 55	0.238 80	0.865 67	1
	<i>y</i>	0.095 26	0.290 45	0.869 20	1
125 MW (31 台)	<i>x</i>	0.279 50	0.492 27	0.847 20	1
	<i>y</i>	0.205 06	0.457 08	0.903 37	1
200 MW (7 台)	<i>x</i>	0.297 78	0.568 89	0.920	1
	<i>y</i>	0.355 74	0.569 99	0.950 32	1
300 MW (7 台)	<i>x</i>	0.439 80	0.689 81	0.962 96	1
	<i>y</i>	0.431 39	0.700 24	0.959 44	1

表 3 不同容量等级单元机组的不均匀系数

单元机组 容量	100 MW	125 MW	200 MW	300 MW
不均匀系数	-0.044 9	0.060 2	-0.062 0	0.004 9

按照“发电设备可靠性信息管理系统”的定义,对单元机组从煤场开始至主变的高压

表 4 不同容量等级锅炉设备的不均匀系数

容量等级	100 MW(3 台)	125 MW(31 台)	200 MW(7 台)	300 MW(7 台)
不均匀系数	0.045 3	0.042 9	0.096 8	0.032 4

4 计算结果分析

表 3、4 列出的计算结果,将大量的统计资料分析转化为定量的判断。

4.1 从计算结果可以看出不同容量等级锅炉的非计划停运时数分配不等性变化不大且不均匀系数较小,从而说明锅炉虽然事故次数较多,但各电厂抢修锅炉出现的各类事故已具备一定的经验和水平,否则事故次数和停运时间不可能出现接近于正比的变化规

律,可分为锅炉、汽轮机、发电机和其它设备四部分。其中锅炉的范围包括:燃料储运,储存和燃烧设备;锅炉的炉管,炉墙,支撑等;空气和烟气系统;主蒸汽管道,再热蒸汽管道(汽轮机主汽门前的管道);给水系统(给水调节阀后);排污系统;启动旁路系统;锅水化学系统;有关的仪表和热工自动装置。同理,锅炉设备的非计划停运状态分布曲线和不均匀系数的求解过程与上述相同,此处不再赘述,只给出不均匀系数如表 4 所示。

律;同时也表明锅炉的事故大多为常见事故。因此,提高锅炉运行可靠性的关键在于减少发生事故的次数,显然这仅靠运行电厂加强管理,提高检修质量是不可能完美解决的。这里涉及到的一个根本问题是理论上认识的高度及由此而产生的防范能力问题。由于锅炉工作条件较差,制造精度、控制水平等多方面的原因,在当前的技术水平条件下,必须加强对锅炉机理的理论研究,提高锅炉的控制水平,通过技术改造的实施来减少锅炉事故发生的次数。其中的核心在于防止受热面的损坏,因为此类故障较多。

4.2 由于锅炉事故所引起的非计划停运占单元机组的强迫停运的一半以上,所以由锅炉不均匀系数较小且变化不大也必然导致了不同容量等级单元机组的不均匀系数较小且变化不大,这说明把锅炉设备作为日常运行管理的重点是符合实际情况的。但从 100 MW 和 200 MW 单元机组的不均匀系数为负值,而锅炉的不均匀系数均为正值也表明减少这两类机组较严重事故的重点不在锅炉设备,应加强单元机组的完善化工作。

4.3 同一容量等级单元机组的非计划停运

时数分配不等性大于锅炉设备,这可以说近年来在锅炉方面进行的大量研究工作取得了进展,使锅炉设备的可靠性显著提高。同时也表明在汽轮机,发电机和其它设备非计划停运时数分配上缺乏相应的调控措施,应引起足够的重视。

参 考 文 献

- 1 麻国毅. 华东电网大型火电单元机组的可靠性统计分析. 华东电力, 1989(1)
- 2 张 寿, 王文清. 计量经济学. 上海交通大学出版社, 1984.7

简 讯

WR21 发 动 机

据“Turbomachinery International”1992 年 11—12 月号报道, 1992 年英国罗尔斯—罗伊斯公司和美国西屋公司进行了 WR21 中间冷却回热式(ICR)燃气轮机箱装体成功的联合投标。美国海军已选择该发动机作为新的推进系统, 用它代替 LM2500 推进装置。

对于目前美国海军的 119 艘由 LM2500 驱动的舰船, 预计 1996 年需要燃油 836 万桶, 花费约 495.5 百万美元。LM2500 在 30% 输出功率下的耗油率为 0.335 kg/(kW·h), 而 ICR 发动机的耗油率仅为 0.229 kg/(kW·h), 节省 31.5%。

就具体的战舰而言, 对于美国海军最终将拥有 29 艘的 DDG—51 级驱逐舰, 用 ICR 装置代替 LM2500 推进系统将使总的燃料消耗节省 21%, 每舰每年节省 159 万美元。

1992 年授予的上述研制合同将生产两台原型箱装体, 供 1994 年末静力试验用。

对 ICR 发动机的技术要求如下:

(1) 最初的额定功率为 19.7 MW, 并能够增加到 26.1 MW。

(2) 总的燃料消耗必须比目前的燃气轮机(LM2500)动力系统减少 30%。

(3) 发动机箱体底座必须与现有 LM2500 简单循环箱装体的相同, 并保持其输出转速、旋转方向和相对位置。

其它技术目标还包括对重量的要求、较长的寿命、更高的可靠性和低的噪声、耐冲击性能、保证取自发动机的辅机功率需要、可维护性良好等。

RB211 航空发动机的两个主要型号—RB211—535E4 和 RB211—524G/H 和 Trent 三型燃气轮机都为 WR21 发动机提供模块, 从而产生了经组合优化的 ICR 燃气轮机的技术性能。

WR21 的五个模块, 其中高压压气机、低压压气机和低压涡轮均来自 RB211—535E4; 高压涡轮来自 RB211—524G/H; 燃烧系统是由斯贝 SM1C 船舶燃气轮机得到的; 动力涡轮来自 Trent, 是 Trent 中驱动低压压气机和风扇的低压涡轮。

WR21 箱装体的外形尺寸(长×宽×高)为:

$$8.08 \times 2.64 \times 4.83(m)$$

该 ICR 发动机的耗油率与负荷的关系如下:

%功率	耗油率(kg/(kW·h))	%变化
110	0.196 7	-0.31
100	0.197 3	0.00
75	0.197 6	+0.15
50	0.205 5	+4.15
30	0.227 8	+15.47

而在通常的简单循环燃气轮机中, 在 50% 负荷时, 其耗油率比全负荷增加 16%。

WR21 发动机除了可供船用外, 也将供陆基应用, 如煤气管线用。(吉桂明 供稿)

A statistical model involving unscheduled shutdown state distribution characteristics and non-uniformity factor is provided for the unequalness analysis of unscheduled shutdown hours of monoblock unit (or equipment). With the help of such a model the unscheduled shutdown hour distribution non-uniformity factor of 100 MW monoblock units (totaling 48 together with corresponding boiler units) of Eastern China Electric Network has been calculated with the extent of the said Network unscheduled shutdown hour distribution unequalness being evaluated. **Key words:** *utility boiler, unscheduled shutdown, hour distribution, unequalness, statistical model*

(99) **Analytical Calculation of Turbine Blade Throat Path Dimension**
Qian Zhenguan (*Harbin Boiler & Turbine Research Institute*)

The author provides a method and sequence for the analytical calculation of turbine blade throat path dimension. **Key words:** *turbine blade, blade throat calculation*

(101) **An Exploratory Study on Various Designs of Extraction Turbine Control System**.....Xu Jiyu, et al. (*Harbin Institute of Technology*) Zhang Hongguang, et al. (*Harbin Turbine Works*)

The authors have compared and analysed several design schemes of an extraction turbine control system and discussed their merits and demerits in terms of stability, load shedding and selfregulation performance. Finally, they have come up with a new design scheme featuring a combination of feedforward and feedback after combining the merits of several design schemes, thus effecting a significant improvement of the system performance. **Key words:** *extraction turbine, control system, design scheme*

(106) **Program Design Method the Measurement of Air Speed with the Help of a Microcomputer**Guo Dingyin (*Harbin Electrotechnical Institute*)

Presented in this paper is a program design method for measuring air speed through use of an eight-channel air speed transmitter and an APPLE II microcomputer with application program block diagrams and a list of source programs being given. **Key words:** *computer test and measurement, program design, air speed*

Edited and Published by Editorial

Staff of Journal of

Engineering for Thermal

Energy and Power

Printer: Printing House of Harbin

Institute of Technology

Address: P.O.Box 77, Harbin China

Cable: 6511, Harbin, China

Post Code Number 150036

Periodical Registration: ISSN1001-2060

CN 23-1176/TK

Distributed by China International

Book Trading Corporation,

P.O.Box 399, Beijing, China