

# 基于发电厂控制性能的 AGC 指令复杂特性分析

崔 超, 刘吉臻, 刘 涛

(华北电力大学控制与计算机工程学院, 北京 102206)

## Analysis of Complexity Characteristics for AGC Orders Based on the Control Performance of Power Plant

CUI Chao, LIU Jizhen, LIU Tao

(School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**摘 要:** 对机组 AGC 指令的复杂特性进行分析可以完善现有的 AGC 考核方法。从发电机组控制性能角度出发, 研究了 AGC 指令信号的复杂特性。通过建立发电机组协调控制系统数学模型, 分析了不同 AGC 指令下电厂的控制性能, 推导了一种离散型与连续型 AGC 信号的复杂度定量分析方法。针对机组运行时负荷点多变的情况, 提出了平均稳态负荷点的思想。最终结果表明, 对于同一发电机组, AGC 指令的复杂特性只与自身特性有关。选取某 1 000MW 机组的 AGC 指令数据, 分别从日、月两个尺度进行仿真分析, 表明该方法能有效完成 AGC 指令复杂特性分析, 为机组发电任务等级的划分提供了依据。

**关键词:** 自动发电控制; 复杂特性; 发电质量; 协调控制

**Abstract:** The existing assessment method for AGC can be improved through analyzing the complexity of AGC signals of Units. In this paper, by taking the control performance of generation unit into consideration, the complexity characteristics of AGC signals is studied. By using the mathematical model of the CCS for generation unit, the control performance of power plant under different AGC orders is analyzed, and a quantitative analysis method for complexity is put forward, which is suitable for discrete and continuous AGC orders. The concept of average steady-state load point is put forward to adapt to the situation of the variety of load points when units operate. Results show that the complexity characteristics of AGC orders depend on its characteristics. Based on the AGC order data for a 1 000MW unit, the simulation and analysis are carried out from such aspects as day and month scales. The results show that the method can effectively realize AGC signals analysis on complexity characteristics, which provides classification base for generation

mission degree of units.

**Keywords:** AGC; complexity characteristics; power quality; coordinate control

## 0 引 言

自动发电控制(Automatic Generation Control, AGC)是电力系统中不可或缺的重要技术, 它为规范电力市场运营, 实现在线竞价提供了必需的基础和有利条件, 是电网调度自动化系统的重要功能之一<sup>[1-2]</sup>。为对提供 AGC 的机组进行鼓励与补偿, 电网提出的“两个细则”<sup>[3]</sup>规定了考核方法: 按可用时间及服务贡献对提供 AGC 服务的机组进行补偿, 可用时间越长、贡献越大, 补偿越高。显然, 这种补偿方法仅考虑了机组执行 AGC 指令的效果, 忽略了 AGC 任务的难易程度。

实际过程中, 电力系统负荷具有随机性, 机组在执行 AGC 指令时要实时调整出力以跟踪电网负荷变化, 这使得机组不仅不能运行于最佳工况点, 还处于变工况运行状态, 这会导致机组的负荷调节过程趋于复杂化, 煤耗也高于稳定运行工况。另一方面, AGC 指令下机组需要跟踪随机波动的电网负荷, 会使得机组各调门处于频繁的切换状态, 增加了设备损耗, 维护费用也将提高。因此, 当发电厂投入 AGC 时, 电网补偿不仅要考虑机组对发电任务的完成情况, 还应该考虑调度中心下达的负荷指令特性, 对于 AGC 指令越复杂响应越好的机组, 考核结果应该越好, 补偿也就应该越高。

广义上, AGC 指令作为一种发电机组的设定值信号, 可以用经典的信号复杂性分析方法对其进行复杂性分析, 如 Kolmogorov 复杂度理论<sup>[4-6]</sup>、

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划项目(973 计划)  
(2012CB215203)

LZ 复杂度算法<sup>[7-8]</sup>、样本熵分析法<sup>[9-10]</sup>等。上述方法的应用中,王瑞琪<sup>[11]</sup>已经利用 Kolmogorov 复杂性与样本熵分析方法得到了一种 AGC 指令复杂特性分析方法,并指出应该选取样本熵和标准差作为发电任务等级划分的依据,然而这种方法仅是从 AGC 指令源信号自身的特性入手,脱离了作用对象的特性,使得结果缺乏一定的实际意义。鉴于此,本文从发电厂控制性能的角度出发,对 AGC 指令历史数据进行数据挖掘与仿真,提出了一种基于发电厂控制性能的 AGC 指令复杂特性量化指标,为机组发电任务等级划分提供了依据。

## 1 AGC 指令复杂性指标

AGC 是指发电机组在规定的出力调整范围内,跟踪电网调度指令,按照一定调节速率实时调整发电出力,以满足电力系统频率和联络线功率控制要求<sup>[12]</sup>。

文献 [3] 给出了一种发电厂 AGC 调控时综合性能指标的定量计算方法,主要根据机组在执行 AGC 指令时的调节速率、调节精度与响应时间 3 个指标进行衡量,表达式如下:

$$\eta = \frac{K_1}{0.75 \times K_2 \times K_3} \quad (1)$$

式中:  $\eta$  为 AGC 指令作用下机组的综合性能;  $K_1$  为调节速率;  $K_2$  为调节精度;  $K_3$  为调节时间。

发电机组执行 AGC 指令时,越复杂的指令越难跟踪,AGC 调控时综合性能越差,也就是说机组的 AGC 调控性能与指令的复杂特性表现出反比例特性,基于此定义 AGC 指令的复杂性指标为

$$F = 1/\eta \quad (2)$$

## 2 CCS 方式下机组的建模

### 2.1 炉内燃烧与传热过程

炉内燃烧与传热过程中,由水冷壁组成的炉膛受热面吸收燃料燃烧所释放的热量,使管道内的循环水蒸发为低参数的蒸汽<sup>[13]</sup>。实际锅炉燃烧过程中,从燃烧开始到热量吸收需要一段时间,整个过程存在一定的惯性,因此炉内燃烧与传热过程可简化为具有纯延迟的一阶惯性环节,如下:

$$\begin{cases} \Delta F = \frac{k_1 e^{\tau_1 s}}{T_1 s + 1} \Delta B \\ \Delta D_Q = \frac{1}{T_2 s + 1} \Delta F \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $F$  为炉膛燃烧强度;  $B$  为进入炉膛的燃料

量;  $D_Q$  为锅炉受热面有效吸热量;  $\tau_1$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $k_1$  为常数,可由热工实验确定。

锅炉燃烧产生的热量一部分使水蒸发为水蒸汽,另一部分转化为锅炉蓄热,根据能量守恒原则,锅炉的蓄热量为

$$\Delta D_Q - \Delta D_K = c_K \frac{d\Delta P_K}{dt} \quad (4)$$

式中:  $P_K$  为蒸汽管道入口压力;  $D_K$  为管道蒸汽流量;  $c_K$  为锅炉蓄热系数,可由热工实验确定。

### 2.2 管道传递过程

蒸汽经过管道到达汽轮机的过程中,管道存在一定的蓄热,会引起一定的流量损失。管道蓄热量表达式如下:

$$\begin{cases} \Delta D_K - \Delta D_T = c_n \frac{d\Delta P_T}{dt} \\ c_n = \frac{\partial Q_n}{\partial P_T} = V_n \frac{\partial y_n}{\partial P_T} \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $D_T$  为进入汽轮机的蒸汽流量;  $P_T$  为汽轮机前压力;  $c_n$  为蒸汽管道的蓄热系数;  $Q_n$  为蒸汽管道内蒸汽流量;  $V_n$  为蒸汽管道容积;  $y_n$  为蒸汽重度系数。

蒸汽管道两侧的压力变化与蒸汽流量的之间的关系为

$$\Delta P_K - \Delta P_T = R \Delta D_K \quad (6)$$

式中:  $R$  为管道阻力,  $R = 2kD_K$ ;

蒸汽管道出口压力  $P_T$  与汽轮机进汽量之间的关系为

$$P_T = (R_V + R_T) D_T \quad (7)$$

式中:  $R_V$  为主蒸汽调节阀阻力;  $R_T$  为汽轮机沿程阻力系数。

设汽轮机主汽调节阀开度为  $\mu = \frac{1}{R_V + R_T}$ ,

则对式(7)两边求导可得

$$\Delta D_T = \mu \Delta P_T + P_T \Delta \mu \quad (8)$$

### 2.3 汽轮机做功过程

发电机组普遍采用再热环节,将高压缸做功后排出的乏汽送入锅炉再热器加热后,再送入中低压缸做功,汽轮机输出功率为高压缸和中低压缸输出功率之和,即

$$N = N_H + N_L \quad (9)$$

稳态工况下,高低压缸输出功率与汽轮机进汽量成正比,用公式定量表示为

$$\begin{cases} N_H = \alpha k_2 D_T \\ N_L = (1 - \alpha) k_2 D_T \end{cases} \quad (10)$$

式中： $\alpha$ 为汽轮机高压缸功率在总功率中所占的比例系数； $D_T$ 为进入汽轮机的蒸汽流量； $k_2$ 为常数。

动态工况下，由于汽轮机部分存在一定惯性延迟，低压缸功率表示如下：

$$N_L = \frac{(1-\alpha)k_2}{T_3s+1} D_T \quad (11)$$

式中： $T_3$ 为中间再热器时间常数；

由式(9)~(11)可得汽轮机的总功率为

$$N = N_H + N_L = \alpha k_2 D_T + \frac{(1-\alpha)k_2}{T_3s+1} D_T = \frac{(\alpha T_3s+1)k_2}{T_3s+1} D_T \quad (12)$$

根据(3)~(12)表示的数学模型，得出整个火电机组系统的方框图如图1所示。

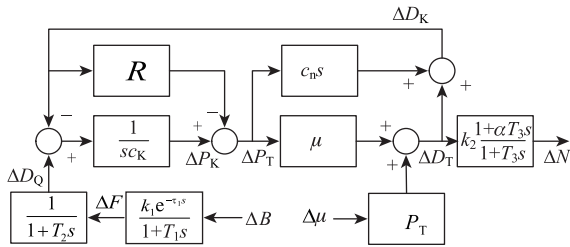


图1 系统模型的方框图

利用图1表示的方框图，联合式(3)、(4)、(5)、(6)、(8)、(12)，消去中间变量，考虑实际过程中燃料量与汽机调门变化到机组输出功率变化的延迟<sup>[14]</sup>，建立火电机组的数学模型，模型结构如式(13)所示。

$$\Delta N = \frac{R_V + R_T}{(1+T_1s)(1+T_2s)(1+T_3s)} \cdot k_1 k_2 (1+\alpha T_3s) e^{-\tau_1 s} \Delta B + \frac{s c_K + (1+s c_K R) c_n s + \frac{1}{R_V + R_T} (1+s c_K R)}{(1+T_3s)} \cdot k_2 (1+\alpha T_3s) P_T e^{-\tau_2 s} \Delta u \quad (13)$$

### 3 AGC指令的复杂特性分析

#### 3.1 单个斜坡AGC指令的复杂特性

利用式(13)描述的火电机组协调控制系统模型结构，通过现场实验获取某一1000MW机组在70%负荷点下的模型参数，建立该机组的仿真模型。仿真时，分别从斜坡指令的斜率、幅值两个基本特征量入手，在AGC指令变化范围内，均匀地

选取不同幅值、斜率的斜坡指令作用于机组模型的给煤量 $\Delta B$ 与汽机调门 $\Delta u$ 上。根据响应曲线，利用(2)式定义的AGC指令复杂度指标计算指令的复杂度，如表1所示。

表1 不同幅值与斜率的斜坡指令的复杂特性

幅值 $m$	斜率 $k$	综合性能指标 $\eta$	复杂度 $F$
1	0.176	3.639	0.275
2	0.364	3.326	0.301
3	0.577	3.056	0.327
4	0.839	2.545	0.393
5	1.191	2.147	0.466
6	1.732	1.754	0.57
7	2.747	1.443	0.693
8	5.671	1.353	0.739

实际运行过程中，机组只有在稳定运行时才会投运AGC，调控时负荷变化一般不会超过额定负荷的5%，升降负荷的速率也不会大于3MW/s<sup>[15]</sup>。表1中的仿真幅值1~8是对实际AGC指令幅值标定的结果，对于该1000MW机组，AGC调控时负荷的最大变化量为50MW，将这一变化量进行8等分，每一份(6.25MW)对应仿真过程中的幅值为1的斜坡指令，使得仿真能均匀地涵盖AGC调控时的幅值变化范围。从斜率的角度上来讲，表1中选用的仿真斜率范围为0.176~5.671，涵盖了AGC指令的实际升降负荷速率范围，并在变化范围内均匀分布，因此表1中的数据具有一般性意义。根据表1中的数据，绘出机组在斜坡AGC指令下，指令幅值、斜率与复杂度的关系如图2所示。

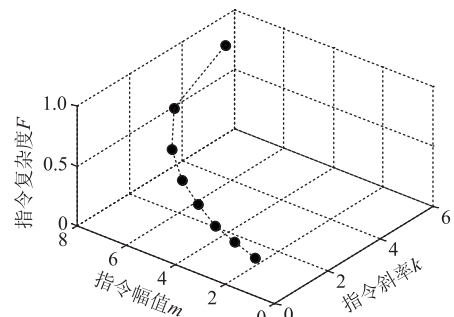


图2 斜坡指令幅值、斜率与复杂度的关系

根据图2可得斜坡指令复杂度与其斜率、幅值呈明显的二次关系。对表1中的幅值、斜率、复杂度数

据进行拟合，得出斜坡指令复杂度的定量计算公式：

$$F = 0.2745 + 0.0241m + 0.1036k - 0.0084m^2 - 0.0146k^2 \quad (14)$$

式中： $F$  为复杂度； $k$  为指令斜率； $m$  为指令幅值。由于(3)~(12)描述的是 CCS 方式下火电机组的一般化建模过程，推导(14)式所选取的斜坡指令信号参数也涵盖了机组实际接受 AGC 指令的变化范围，因此式(14)可以表示为一般化的形式：

$$F = \sum_{j=0}^n a_j m^j + \sum_{j=0}^n b_j k^j \quad (15)$$

式中：参数  $a_j$ ,  $b_j$  与机组的数学模型参数相关，且对于同一发电机组，不同负荷点下的取值一般不同。

### 3.2 一般 AGC 指令的复杂特性

#### 3.2.1 单负荷点下的复杂性分析

发电机组实际运行时，其接收到的指令信号是一些连续的不规则形式的指令。一个常见的 AGC 指令信号如图 3 所示。

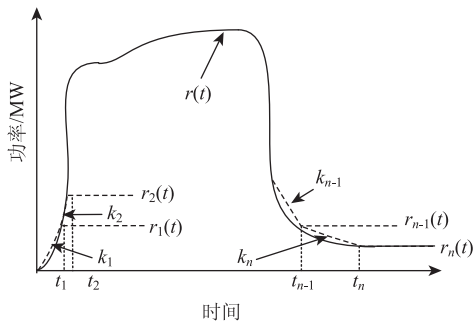


图 3 常见指令信号的分析

图 3 表明了一种信号分解原则，一般的指令信号可近似分解为一系列斜坡信号的组合，即

$$r(t) = r_1(t) + r_2(t) + \dots + r_n(t) \quad (16)$$

若采样时间间隔足够小，即  $t_n - t_{n-1} \rightarrow 0$ ，其中任意一个微小的斜坡信号具有如下性质：

$$\begin{cases} k_i \approx 1 \\ m_i \approx |r_i(t) - r_{i-1}(t)| \\ m_i^n \approx 0 \quad (n \geq 2) \end{cases} \quad (17)$$

式中： $k_i$ ,  $m_i$  分别为第  $i$  个斜坡信号的斜率与幅值； $r_i(t)$ ,  $r_{i-1}(t)$  分别表示 AGC 指令在  $i$  时刻与  $i-1$  时刻的采样值。

结合式(15)与(17)，微小斜坡 AGC 指令的复杂特性近似为

$$F_i = a_0 + \sum_{j=0}^n b_j + a_1 |r_i(t) - r_{i-1}(t)| \quad (18)$$

利用叠加原理，将每一个分解后的斜坡指令的

复杂度叠加起来，可得一般 AGC 指令信号  $r(t)$  的复杂度为

$$F_{r(t)} = (a_0 + \sum_{j=0}^n b_j)n + a_1 \sum_{i=1}^n |r_i(t) - r_{i-1}(t)| \quad (19)$$

式中： $n$  为分解后的斜坡指令的个数。将(19)式写成更为一般的形式，如下：

$$F_{r(t)} = k_1 + k_2 \sum_{i=1}^n |r_i(t) - r_{i-1}(t)| \quad (20)$$

分析式(20)， $k_1$ ,  $k_2$  为常数，与机组数学模型相关，与 AGC 指令本身无关。因此，在分析 AGC 指令的复杂特性时，若对象都是同一台机组，则在某个稳定负荷点上，指令的复杂特性可简化为

$$F_{r(t)} = \sum_{i=1}^n |r_i(t) - r_{i-1}(t)| \quad (21)$$

式(21)表明了一种离散型 AGC 指令的复杂特性分析方法，在某个单一稳定负荷点下分析某台机组的 AGC 指令复杂度时，只要得到 AGC 指令每一时刻的采样值，就能定量计算得出复杂度。

若 AGC 指令在  $t_i$  时刻的采样值为  $r_i(t)$ ， $t_{i-1}$  时刻的采样值为  $r_{i-1}(t)$ ，如图 4 所示。

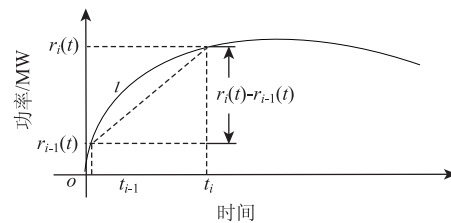


图 4 离散信号到连续信号的复杂度近似

如果  $t_i - t_{i-1} \rightarrow 0$ ，则  $|r_i(t) - r_{i-1}(t)|$  近似等于弧长  $l$ ，此时，(21)式可近似用曲线积分表示：

$$F_{r(t)} = \int_L ds = L(r(t)) \quad (22)$$

式中： $L(r(t))$  为连续型设定值信号的长度。式(22)给出了一种连续 AGC 指令信号的复杂特性分析方法，对某个稳定负荷点下的同一机组，只要知道 AGC 指令的长度，就能定量计算得出其复杂特性。

#### 3.2.2 多负荷点下的复杂性分析

机组实际运行时，负荷的频繁切换会使机组的稳态负荷点发生变化，从而改变机组的动态模型参数，使(20)式中的参数  $k_1$ ,  $k_2$  发生变化，此时在进行 AGC 指令复杂特性分析时，会出现同一指令

在不同负荷点下复杂度不同的情况。

为了解决上述问题,本文引入了平均复杂度的概念,定义了机组 AGC 调控时的平均稳态负荷点:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^p (t_i Q_i)}{\sum_{i=1}^p t_i} \quad (23)$$

式中:  $\bar{Q}$  为平均稳态负荷点;  $Q_i$  为机组运行时的第  $i$  个稳态负荷点;  $t_i$  为第  $i$  个稳态负荷点的持续时间;  $p$  为稳态负荷点的个数。

式(21)、(22)的推导已经表明,在某个单一负荷点下,机组 AGC 指令复杂度特性只与指令自身参数相关。因此对于同一发电机组,在式(23)表示的平均稳态负荷点下,AGC 指令的复杂特性也只取决于指令本身,仍可用式(21)、(22)的方法进行复杂特性分析。采用基于平均负荷点的分析方法后,可有效解决多负荷点下的 AGC 指令的复杂度分析问题,更适用于一般机组的运行过程。

## 4 实例分析

### 4.1 日尺度下的 AGC 指令复杂特性分析

以某一 1 000MW 火电机组 AGC 指令的复杂特性分析为例,说明本文提出的 AGC 指令复杂特性分析方法的合理性。选取 AGC 指令原始数据时,利用机组 SIS(Supervisory Information System in Plant Level)系统的历史数据库,提取该机组 2012 年 5 月 27 日 4 个时段的 AGC 指令进行复杂性分析,每个时段间隔 5 h,每隔 1min 取一个数据,4 个时段 AGC 指令如图 5 所示。

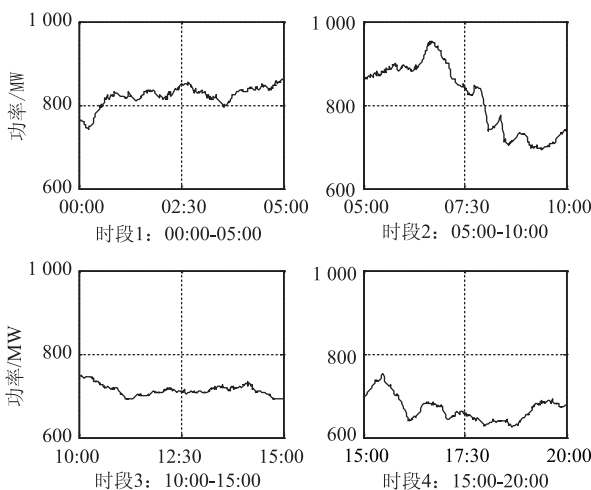


图 5 5 月 27 日 4 个时段的 AGC 指令信号

由图 5 可以明显看出,时段 2 的 AGC 指令波

动较为剧烈,时段 3 的指令较为平缓,时段 1 与时段 4 的复杂特性相当。利用(21)式的方法计算该机组不同时段的 AGC 指令复杂性,如表 2 所示。

表 2 日尺度下的指令信号复杂度特性

时段	复杂特性
时段 1:00:00~05:00	969.86
时段 2:05:00~10:00	1 106.93
时段 3:10:00~15:00	631.29
时段 4:15:00~20:00	772.96

表 2 中计算得到的指令复杂度结果与图 5 负荷曲线一致。对于该机组 5 月 27 日的指令,时段 2 包含了企业生产和居民生活用电上升阶段,电网负荷不断上升,达到一天负荷最高峰后震荡下降,负荷波动较大,AGC 指令最复杂;时段 1 期间,晚间照明、广告和娱乐活动比较集中,照明设施的开关会导致频繁的用电负荷切换,AGC 指令复杂度次之;时段 4 期间,下午企业生产活动开始及晚间照明负荷与用餐负荷出现,造成负荷不稳定;时段 3 处于午间休息时段,很多生产活动停止,生活用电负荷趋于平稳,该时段负荷变化相对平稳,AGC 指令最简单。综上所述,本文给出的 AGC 指令复杂度分析方法与日尺度下 AGC 的特性相符。

### 4.2 月尺度下的 AGC 指令复杂特性分析

在进行月尺度分析时,为了使 AGC 指令的复杂特性具有可比性,在 SIS 系统中选取 2012 年 5 月 25 日~6 月 25 日,12 月 17 日~2013 年 1 月 7 日两个月的 AGC 历史数据,分别代表一年的夏、冬两个季节的负荷变化。选取数据时,每隔 30min 选取一个数据,AGC 指令如图 6 所示。

计算该机组两个月的 AGC 指令复杂特性,如表 3 所示。

表 3 月尺度下 AGC 指令的复杂特性

时间	复杂度
2012 年 5 月 25 日~6 月 25 日	38 175.66
12 月 17 日~2013 年 1 月 7 日	16 320.02

表 3 中的 AGC 复杂特性与图 6 中的负荷曲线较为吻合。在 5 月 25 日~6 月 25 日期间内,由于高温导致大量制冷负荷出现,造成持续变化的用电

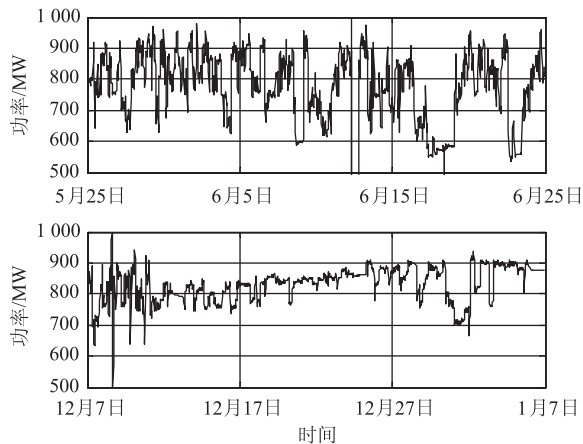


图 6 1 000MW 机组两个月的指令信号

高峰, AGC 指令波动较为剧烈, 复杂程度也较大。12 月 17 日~1 月 7 日期间, 由于采用集中供暖, 取暖负荷相对较低, 用电负荷波动不大, 机组的 AGC 指令也相对简单。上述分析表明, 本文给出的 AGC 指令复杂特性分析方法与月尺度下 AGC 的实际特性相符。

## 5 结 论

① 针对火电厂 AGC 指令复杂特性的分析问题, 定义了 AGC 指令复杂特性指标, 并以此推导出了一种 AGC 指令复杂特性的定量分析方法。针对机组负荷点多变的情况, 提出了平均稳态负荷点的思想。最终结果表明, 对于同一发电机组, AGC 指令的复杂度只与自身特性有关, 从而简化了复杂度衡量方法, 使该方法具有一定的推广价值。

② 通过对某 1 000MW 机组的 AGC 指令进行日、月尺度下的复杂特性分析, 分析结果与实际情况相符, 有助于将该方法应用于实际电力生产中。

## 参 考 文 献

- [1] 邢金峰, 何占宾, 杨兴宇, 等. 自动发电控制在河北南部电网中的应用 [J]. 电力自动化设备, 2011, 31(4): 128 - 131.
- [2] 王娟娟, 吕泉, 李卫东, 等. 电力市场环境下需求侧 AGC 成本的分摊策略 [J]. 电力自动化设备, 2012, 32(6): 31 - 35.
- [3] 国家电力监管委员会. 华北区域并网发电厂辅助服务管理实施细则, 华北区域发电厂并网运行管理实施细则 [S]. 2006.
- [4] UKIL A. Application of Kolmogorov complexity in anomaly detection [C]//16th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), 2010: 141 - 146.
- [5] BARMALIAS G, LI A. Kolmogorov complexity and computably enumerable sets [J]. Annals of Pure and Applied Logic, 2013, 164(12): 1187 - 1200.
- [6] LI M, VIT NYI P M. An introduction to Kolmogorov complexity and its applications [M]. Springer, 2009.
- [7] ABOY M, HORNERO R, AB SOLO D, et al. Interpretation of the Lempel-Ziv complexity measure in the context of biomedical signal analysis [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2006, 53(11): 2282 - 2288.
- [8] YU C, LUCY HE R, YAU S S-T. Viral genome phylogeny based on Lempel-Ziv complexity and Hausdorff distance [J]. Journal of theoretical biology, 2014, 348: 12 - 20.
- [9] RICHMAN J S, MOORMAN J R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy [J]. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 2000, 278(6): H2039 - H2049.
- [10] YAO P, XUE J, ZHOU K, et al. Sample Entropy-Based Approach to Evaluate the Stability of Double-Wire Pulsed MIG Welding [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014: 1 - 8.
- [11] 王瑞琪, 刘吉臻, 高萌, 等. 火电机组 AGC 指令特性分析 [J]. 华北电力大学学报: 自然科学版, 2013, 40(5): 84 - 89.
- [12] 颜伟, 赵瑞锋, 赵霞, 等. 自动发电控制中控制策略的研究发展综述 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(8): 149 - 155.
- [13] 刘禾, 白焰, 李新利. 火电厂热工自动控制技术及应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [14] 李平康. 火电厂自动发电控制(AGC)过程建模与优化控制研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2006.
- [15] 王震, 邸若冰. AGC 功能在阳城电厂的应用 [J]. 科学之友, 2009(7): 13 - 15.

收稿日期: 2014-11-25

作者简介:

崔 超(1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为火电机组 AGC 指令特性及机组对 AGC 响应过程相关分析, E-mail: ncepucc@gmail.com.

(责任编辑: 林海文)