

1-8-2019

## Direct Parameter Identification Method for Steam Turbine and Its Governing System

Jingliang Zhong

*1. Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Co., Ltd. Guiyang 550002, China;;*

Xiaolong Gou

*2. School of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;*

Tongtian Deng

*1. Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Co., Ltd. Guiyang 550002, China;;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Direct Parameter Identification Method for Steam Turbine and Its Governing System

## Abstract

**Abstract:** Since most of the traditional parameter identification methods used in the steam turbine and its governing system have the shortages of poor fitness, complicated identification process and long period, a novel identification method based on least square theory, called direct identification method, is proposed in this paper. *Parameter to be identified can be obtained quickly and accurately through direct identification method if the identification process is transferred to solve nonlinear equation which represents the minimal error between simulated data and measured data.* The identification results show that during identification process the proposed method has high identification efficiency, accurate identification results and robust identification process compared with the traditional parameter identification method. The proposed identification method brings a novel way for steam turbine speed governor system identification.

## Keywords

steam turbine, speed governor system, parameter identification, identification method

## Recommended Citation

Zhong Jingliang, Gou Xiaolong, Deng Tongtian. Direct Parameter Identification Method for Steam Turbine and Its Governing System[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(9): 3312-3318.

## 汽轮机及调节系统参数直接辨识法研究及应用

钟晶亮<sup>1</sup>, 苟小龙<sup>2</sup>, 邓彤天<sup>1</sup>

(1. 贵州电网有限责任公司电力科学研究院, 贵阳 550002; 2. 重庆大学动力工程学院, 重庆 400044)

**摘要:** 针对目前汽轮机及其调节系统传统辨识方法存在的周期长、适应性差和辨识过程冗杂等问题, 提出了一种直接辨识法。该辨识方法基于“最小二乘”思想, 通过数值方法求解系统仿真值与实测值之间偏差最小时所对应的非线性方程, 可快速准确地获得待辨识参数值。经过实际参数辨识试验, 本文提出的直接辨识法的辨识过程效率高、辨识结果准确、鲁棒性强。该辨识方法为汽轮机及其调节系统参数辨识提供了一种新型有效手段。

**关键词:** 汽轮机; 调节系统; 参数辨识; 辨识方法

中图分类号: TK263.7

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 09-3312-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201809011

## Direct Parameter Identification Method for Steam Turbine and Its Governing System

Zhong Jingliang<sup>1</sup>, Gou Xiaolong<sup>2</sup>, Deng Tongtian<sup>1</sup>(1. Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Co., Ltd. Guiyang 550002, China;  
2. School of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Since most of the traditional parameter identification methods used in the steam turbine and its governing system have the shortages of poor fitness, complicated identification process and long period, a novel identification method based on least square theory, called direct identification method, is proposed in this paper. *Parameter to be identified can be obtained quickly and accurately through direct identification method if the identification process is transferred to solve nonlinear equation which represents the minimal error between simulated data and measured data.* The identification results show that during identification process the proposed method has high identification efficiency, accurate identification results and robust identification process compared with the traditional parameter identification method. The proposed identification method brings a novel way for steam turbine speed governor system identification.

**Keywords:** steam turbine; speed governor system; parameter identification; identification method

## 引言

汽轮机调节系统是通过调节汽轮机的功率和转速, 以保证机组安全运行、电网稳定的重要系统。研究汽轮机调节系统的动态特性, 建立精确的数学

模型, 对于汽轮机性能预测、安全运行和状态监测具有重大意义。由于调节系统的复杂性、设备在安装调试过程中特性的变化, 纯粹的理论建模方法只能确定系统的模型结构, 难以确定系统中的某些特性参数。为此, 采用参数辨识的方法来识别调节系统中的关键参数, 进而获得能够反映动态特性的完整、精确的数学模型是工程上普遍采用的手段。

尽管在系统参数辨识领域已有不少研究成果, 诸多经典及智能辨识算法已应用于工程之中, 如最



收稿日期: 2017-01-06 修回日期: 2017-05-22;  
作者简介: 钟晶亮(1975-), 男, 江西赣州, 硕士, 高工, 研究方向为汽轮机调速系统优化运行及稳定分析; 苟小龙(1972-), 男, 四川南充, 博士, 教授, 博导, 研究方向为动力系统仿真与控制。

<http://www.china-simulation.com>

• 3312 •

小二乘法<sup>[1]</sup>、共轭梯度法<sup>[2]</sup>、多项式拟合法<sup>[3]</sup>等经典辨识算法, 以及遗传算法<sup>[4]</sup>、粒子群算法<sup>[5]</sup>和引力搜索算法<sup>[6-8]</sup>等智能辨识算法。然而, 这些常用的经典辨识法易受噪声信号的影响, 导致辨识结果鲁棒性差, 从而偏离参数真实值; 智能辨识算法却普遍存在迭代过程耗时长、随机大、辨识结果可重复性较差等问题, 且容易陷入“局部最优”, 而影响求解的效率。所以, 工程上急需一种以汽轮机及其调节系统为对象, 准确、快速识别系统中关键参数的辨识方法。本文通过对汽轮机及其调节系统工作特性的分析, 获得其基本的模型结构, 基于“最小二乘”的基本思想, 提出了一种准确、高效识别系统参数的直接辨识法(DIM, Direct Identification Method), 并通过理论数据和某 300 MW 火电机组实测数据进行参数辨识试验, 验证所提出的直接辨识法的有效性。

## 1 汽轮机及其调节系统模型简介

经过合理的简化假设, 建立了如图 1 所示的汽

轮机及其调节系统模型: 主要包括频差放大环节, 控制环节, 执行机构环节和汽轮机本体环节。此外, 在转速测量环节中加入了死区和一次功率限幅环节; 在调节器控制环节中加入了 PID 限幅环节; 在执行机构环节中加入了电液转换器 PID 控制器, 油动机过速开启/关闭模型, 汽轮机最大/最小功率限幅环节, 以及线性可变差动变压器 LVDT 的行程反馈模型。汽轮机组运行过程中常包括功率控制与 CCS 控制两种控制方式。由于实际控制系统软硬件之间的差异以及信号传递过程中受到的干扰因素, 模型中直接采用机组所设置的 PID 参数不一定能准确反映调节系统的动态特性, 因此常常通过修正 PID 的方式来弥补与实际控制系统中的差异。综上, 系统中未能确定的参数有执行机构中的油动机开启/关闭时间常数( $T_o/T_c$ ), 高压容积时间常数( $T_{CH}$ ), 再热管道容积时间常数( $T_{RH}$ ), 低压连通管道容积时间常数( $T_{CO}$ ), 此外还需根据功率变化对控制回路中的 PID 系数修正, 得到与实际控制回路等价的当量 PID 系数。

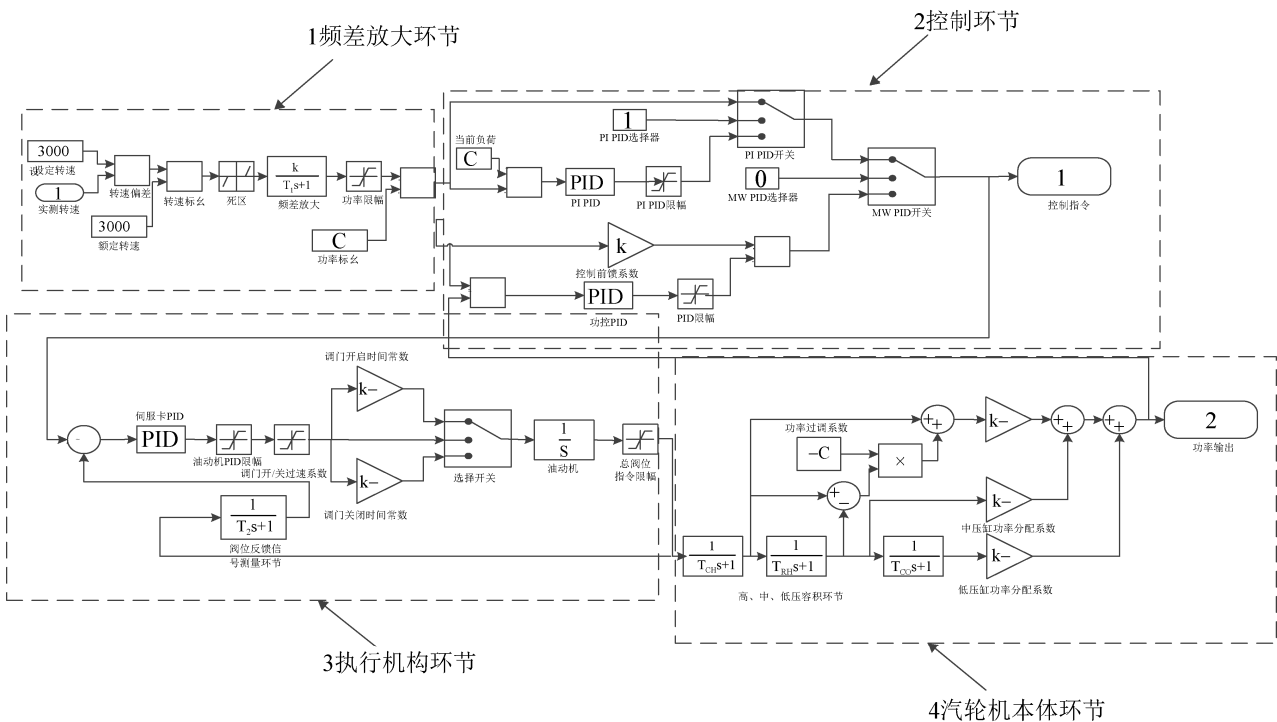


图 1 汽轮机及调速系统模型

Fig. 1 Steam turbine and its speed governor system model

机组进行调试试验时,通常从控制环节给出阶跃输入信号,激励执行机构动作,以控制汽轮机的转速及功率。而在汽轮机调节系统建模过程中,则利用输入信号扰动下的各环节实测数据,辨识对应环节的时间常数。

## 2 直接辨识法原理简介

从图1中汽轮机及其调节系统数学模型可知,包含各待辨识时间常数的环节均可简化为惯性环节。以惯性环节为例,在阶跃扰动信号下的动态响应如式(1)所示。

$$Y(s) = Y_0(s) + \frac{K}{sTs + 1} \quad (1)$$

式中:  $K$  为增益;  $Y_0$  为系统初始状态;  $T$  为时间常数。

将式(1)转化至时域可得:

$$y(t) = y_0 + K \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (2)$$

式中:  $t$  为扰动发生后的时间。

假设时刻  $t_i$  对应的实际响应为  $y_r(t_i)$ , 实际响应与模型输出之间的偏差  $J$  定义为:

$$J = \sum_{i=1}^N [y_r(t_i) - y(t_i)]^2 = \sum_{i=1}^N \left[ y_r(t_i) - y_0 - K \left( 1 - e^{-\frac{t_i}{T}} \right) \right]^2 \quad (3)$$

对式(3)中  $J$  对时间常数  $T$  求导, 得:

$$J'(T) = \frac{\partial J}{\partial T} = \sum_{i=1}^N 2(y_r(t_i) - y_0 - K(1 - e^{-\frac{t_i}{T}})) \cdot \frac{t_i}{T^2} e^{-\frac{t_i}{T}} \quad (4)$$

偏差  $J$  存在最小值, 则有  $\frac{\partial J}{\partial T} = 0$ , 即:

$$J'(T) = \sum_{i=1}^N (y_r(t_i) - y_0 - K(1 - e^{-\frac{t_i}{T}})) \cdot t_i \cdot e^{-\frac{t_i}{T}} = 0 \quad (5)$$

式(5)是非线性方程, 得到解析解十分困难, 可通过数值方法求解时间常数  $T$ 。一般地, 时间常数  $T$  处于某段实数区间  $[a, b]$  内, 本文采用波尔查

诺二分法对式(5)进行数值求解。具体步骤如下:

①计算  $J'(a)$  的值, 判断其符号正负, 设置增量  $\Delta T$ ;

②在  $a$  的基础上增大  $\Delta T$ , 计算  $J'(a + \Delta T)$  的值, 判断其符号正负, 如果  $J'(a + \Delta T)$  符号与  $J'(a)$  相同, 则继续增加  $\Delta T$ , 直到增加到  $J'(c)$  符号与  $J'(a)$  相反, 取值区间更新为  $[c_0, c]$ ,  $c_0 = c - \Delta T$ ;

③计算  $c$  与  $c_0$  之间的中点  $d$ , 得  $J'(d)$  的值, 如果  $J'(d)$  符号与  $J'(c)$  相同, 则取值区间变为  $[c_0, d]$ , 计算  $d$  与  $c_0$  之间的中点  $e$ , 求解  $J'(e)$  的值; 否则取值区间变为  $[d, c]$ , 计算  $d$  与  $c$  之间的中点  $f$ , 求解  $J'(f)$  的值;

④更新取值区间, 重复③的计算, 直到满足精度, 完成计算。

## 3 辨识实例

本节将基于直接辨识法分别采用理论数据和现场实测数据进行参数辨识试验, 并且与递推最小二乘法(RLS)、粒子群算法(PSO)和遗传算法(GA)的辨识结果进行比较, 验证直接辨识法的有效性。

### 3.1 理论测试

以一阶惯性环节系统为例, 设定时间常数  $T=0.4, 5, 15$ , 在单位阶跃输入信号作用下, 得到对应的理论响应数据及含噪声信号扰动的响应数据。以这两种响应数据, 分别通过递推最小二乘法、粒子群算法、遗传算法和直接辨识法分别进行参数辨识试验, 辨识效果如表1所示。粒子群算法和遗传算法中的参数参考文献[9]进行设置, 递推最小二乘法和直接辨识法中的最大允许误差  $Tol$  设为  $1.0^{-8}$ , 辨识结果列入表1中。计算机配置为 Pentium(R) Dual-core CPU E5800 @3.2 GHz 3.20 GHz, 内存 2.00GB。

遗传算法和粒子群算法属于智能优化算法, 迭代计算耗时较长, 因此并未在表1中列出。从表1可知, 最小二乘法辨识速度快, 但辨识过程易受噪声信号影响, 导致辨识结果偏差较大; 遗传算法和粒子群算法具有较好的辨识结构, 但计算耗时较

长; 基于直接辨识法进行参数辨识, 辨识结果准确, 辨识速度快, 效率高, 噪声信号对于辨识的结果影响较小, 鲁棒性强。

### 3.2 基于实测数据参数辨识

为了验证直接辨识法对于实际机组中汽轮机及其调节系统参数辨识的有效性, 本节将采用某 300 MW 机组实测数据进行参数辨识试验。

由于直接辨识法是基于阶跃扰动信号响应所进行的单参数辨识, 汽轮机阀门扰动阶跃信号始于控制环节的输出, 因此辨识高压容积时间常数时需将执行机构模型考虑进来, 辨识再热管道容积时间常数时需将前一环节的模型考虑进来, 辨识低压连通管道时间常数时需将前两个环节考虑进来。执行机构的反馈环节 LVDT 时间常数  $T_g$  为 0.02, 对于动态特性的影响很小, 可将其简化为单位反馈; 同时忽略非线性环节的影响, 可将执行机构简化为一阶惯性环节。结合汽轮机本体部分模型, 将辨识系统可简化为图 2 所示。模型中,  $T_{gv}$  为执行机构时间常数;  $K_p$  为执行机构 PID 调节器比例系数;  $k_1$ ,

$k_2$  和  $k_3$  为信号传递过程的增益。

根据直接辨识法的思路, 建立了各容积时间常数的辨识模型。其中, 高压容积时间常数  $T_{CH}$  的求解方程为:

$$\sum_{i=1}^N \left\{ \left[ \frac{1}{(T_{gv} - T_{CH} K_P)} e^{-\frac{t_i}{T_{CH}}} + \frac{T_{CH} K_P}{(T_{gv} - T_{CH} K_P)^2} e^{-\frac{t_i}{T_{CH}}} - \frac{T_{gv}}{(T_{gv} - T_{CH} K_P)^2} e^{-\frac{K_P t_i}{T_{gv}}} + \frac{t_i}{T_{CH} (T_{gv} - T_{CH} K_P)} e^{-\frac{t_i}{T_{CH}}} \right] \times \left[ k_1 + y_0 - \frac{T_{gv} k_1}{(T_{gv} - T_{CH} K_P)} e^{-\frac{K_P t_i}{T_{gv}}} + \frac{T_{CH} k_1 K_P}{T_{gv} - T_{CH} K_P} e^{-\frac{t_i}{T_{CH}}} - y(t_i) \right] \right\} = 0 \quad (6)$$

表 1 辨识结果

Tab. 1 Identification results

试验序号	辨识方法	无噪声	有噪声	无噪声	有噪声	无噪声	有噪声
	设定值 $T$	0.4	0.4	5	5	15	15
1	RLS 辨识结果	0.399 9	0.372 1	4.999	4.616 9	14.999	12.723 5
	RLS 耗时/s	1.52	1.55	1.47	1.46	1.49	1.47
2	DIM 辨识结果	0.402 0	0.401 8	5.002 0	5.001 1	15.002 1	15.006 0
	DIM 耗时/s	0.24	0.24	0.47	0.47	0.94	0.92
3	GA 辨识结果	0.391 0	0.391 0	4.985 3	4.985 3	14.995 1	14.995 1
4	PSO 辨识结果	0.409 1	0.413 3	4.999 8	4.999 3	14.997 9	14.985 0

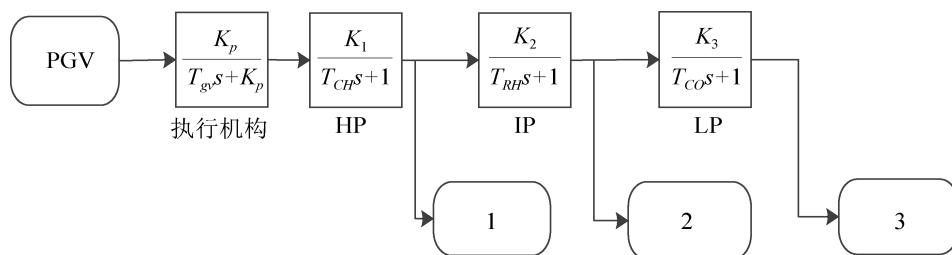


图 2 执行机构与汽轮机本体辨识模型

Fig. 2 Identification model of actuator and steam turbine



再热管道容积时间常数  $T_{RH}$  的求解方程:

$$\sum_{i=1}^N [y_0 + k_1 k_2 - \frac{T_{gv}^2 k_1 k_2}{(T_{gv} - T_{CH} K_P)(T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{K_P t_i}{T_{gv}}} + \frac{T_{CH}^2 k_1 k_2 K_P}{(T_{CH} - T_{RH})(T_{gv} - T_{CH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CH}}} - \frac{T_{RH}^2 k_1 k_2 K_P}{(T_{CH} - T_{RH})(T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{RH}}} - y(t_i)] \times [\frac{t_i}{(T_{CH} - T_{RH})(T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{RH}}} + \frac{T_{gv}^2}{(T_{gv} - T_{CH} K_P)(T_{gv} - T_{RH} K_P)^2} e^{\frac{K_P t_i}{T_{gv}}} - \frac{T_{CH}^2}{(T_{CH} - T_{RH})^2 (T_{gv} - T_{CH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CH}}} + \frac{T_{RH}^2}{(T_{CH} - T_{RH})^2 (T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{RH}}} + \frac{T_{RH}^2 K_P}{(T_{CH} - T_{RH})(T_{gv} - T_{RH} K_P)^2} e^{\frac{t_i}{T_{RH}}} + \frac{2T_{RH}}{(T_{CH} - T_{RH})(T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{RH}}}] = 0 \quad (7)$$

通过式(5)可求解出执行机构时间常数  $T_{gv}$ ; 将其代入式(6), 可解出高压容积时间常数  $T_{CH}$ 。依次可求解出式(7)的再热容积时间常数  $T_{RH}$ , 低压连通管道容积时间常数  $T_{CO}$  的求解式为式(8)。

$$\sum_{i=1}^N [y_0 + k_1 k_2 k_3 - \frac{T_{gv} k_1 k_2 k_3}{(T_{gv} - T_{CH} K_P)(T_{gv} - T_{CO} K_P)(T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{K_P t_i}{T_{gv}}} + \frac{T_{CH}^3 k_1 k_2 k_3 K_P}{(T_{CH} - T_{CO})(T_{CH} - T_{RH})(T_{gv} - T_{CH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CH}}} - \frac{T_{CO}^3 k_1 k_2 k_3 K_P}{(T_{CH} - T_{CO})(T_{CO} - T_{RH})(T_{gv} - T_{CO} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CO}}} + \frac{T_{RH}^3 k_1 k_2 k_3 K_P}{(T_{CH} - T_{RH})(T_{CO} - T_{RH})(T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{RH}}} - y(t_i)] \times [\frac{3T_{CO}^2}{(T_{CH} - T_{CO})(T_{CO} - T_{RH})(T_{gv} - T_{CO} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CO}}} - \frac{T_{CH}^3}{(T_{CH} - T_{CO})^2 (T_{CH} - T_{RH})(T_{gv} - T_{CH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CH}}} - \frac{T_{CO}^3}{(T_{CH} - T_{CO})(T_{CO} - T_{RH})^2 (T_{gv} - T_{CO} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CO}}} + \frac{T_{CO}^3}{(T_{CH} - T_{CO})^2 (T_{CO} - T_{RH})(T_{gv} - T_{CO} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CO}}} + \frac{T_{RH}^3}{(T_{CH} - T_{RH})(T_{CO} - T_{RH})^2 (T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{RH}}} + \frac{T_{gv}^3}{(T_{gv} - T_{CH} K_P)(T_{gv} - T_{CO} K_P)^2 (T_{gv} - T_{RH} K_P)} e^{\frac{K_P t_i}{T_{gv}}} + \frac{T_{CO}^3 K_P}{(T_{CH} - T_{CO})(T_{CO} - T_{RH})(T_{gv} - T_{CO} K_P)^2} e^{\frac{t_i}{T_{CO}}} + \frac{T_{CO} t_i}{(T_{CH} - T_{CO})(T_{CO} - T_{RH})(T_{gv} - T_{CO} K_P)} e^{\frac{t_i}{T_{CO}}}] = 0 \quad (8)$$

粒子群算法和遗传算法中的参数按照文献[9]进行设置, 设置递推最小二乘法和直接辨识法中的最大允许误差  $Tol$  设为  $10^{-6}$ 。基于各类算法的辨识结果列入表2中, 表中误差为阀位指令阶跃输入信号下得到的各环节压力仿真输出与实测输出之间的均方差。计算机配置为 Pentium(R) Dual-core CPU E5800 @3.2 GHz 3.20 GHz, 内存 2.00 GB。

表 2 辨识结果  
Tab. 2 Identification results

	$T_{CH}$	误差	$T_{RH}$	误差	$T_{CO}$	误差
PSO	0.118 0	0.001 86	15.546 7	0.002 2	3.588 9	0.001 31
GA	0.098 7	0.001 91	15.552 3	0.002 2	3.593 1	0.001 31
RLS	0.246 5	0.002 5	18.257 5	0.004 5	3.958 6	0.001 7
耗时/s	2.723 8		2.523 0		2.680 0	
DIM	0.110 4	0.001 9	15.106 1	0.002 3	3.782 6	0.001 5
耗时/s	0.258		0.785		1.858	

从表 2 可见, 遗传算法、粒子群算法辨识结果精度较高, 递推最小二乘法对某些环节的辨识结果误差较大, 直接辨识法辨识结果精度较高, 辨识速度快、辨识效率高。图 3~5 为各环节的仿真曲线与实测曲线对比。

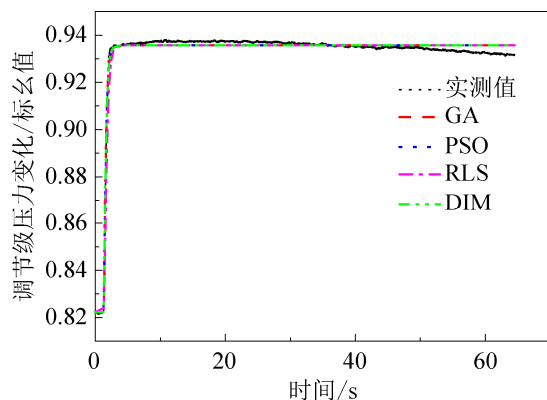


图 3 调节级压力仿真值与实测值对比

Fig. 3 Comparison of first stage pressure identification effect

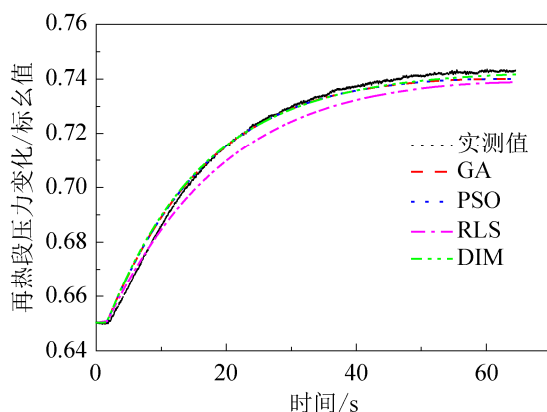


图 4 再热压力仿真值与实测值对比

Fig. 4 Comparison of reheater pressure identification effect

从各环节压力仿真变化曲线可知, 基于直接辨识法、遗传算法、粒子群算法得到的仿真曲线和实

测曲线吻合程度较好, 能够正确反映机组动态特性变化规律, 辨识结果真实可靠; 而递推最小二乘法得到的仿真曲线对于再热压力曲线偏差较大, 辨识结果存在一定误差。因此, 基于直接辨识法进行参数辨识具有辨识结果准确、辨识速度快、效率高的特点。在得到各环节时间常数之后, 即可对汽轮机及其调节系统中控制环节的控制系数进行整定与修正, 以进一步建立能够准确反映实际系统动态特性的数学模型。

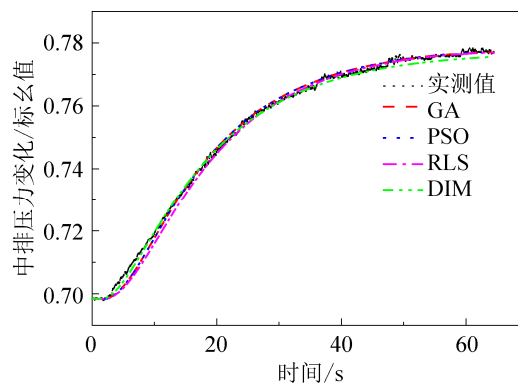


图 5 中排压力仿真与实测值对比

Fig. 5 Comparison of intermediate exhaustion pressure identification effect

## 4 结论

本文以汽轮机及其调节系统为研究对象, 深入分析系统模型结构, 基于“最小二乘”思想, 提出了直接辨识法, 并通过理论试验数据与某 300 MW 机组实测数据进行参数辨识试验。仿真试验表明, 基于基本模型结构进行详细理论推导获得的直接辨识法具有辨识结果准确辨识速度快, 效率高, 鲁棒性强的特点, 满足工程要求。因此, 基于直接辨识



法进行汽轮机及其调节系统参数辨识是一种新的有效手段,该直接辨识思路亦可用于其他模型结构明确的系统模型辨识,以提高辨识的效率。

### 参考文献:

- [1] Mehta A, Kaufman H, Ravi R. Turbine system identification: experimental results[C]// Decision and Control, 1994. Proceedings of the, IEEE Conference on. 1995, 4: 3593-3595.
- [2] Shen M, Venkatasubramanian V, Abi-Samra N, et al. A new framework for estimation of generator dynamic parameters[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(2): 756-763.
- [3] 王志群, 朱守真, 楼鸿祥, 等. 基于时域分段线性多项式法的大型汽轮机建模和参数辨识[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(4): 128-133.  
WANG Zhi-qun, ZHU Shou-zhen, LOU Hong-xiang, et al. PLPF based modeling and parameter-identifying of large steam turbine in time domain[J]. Proceedings of CSEE, 2003, 23(4): 128-133.
- [4] Stefopoulos G K, Georgilakis P S, Hatzigiorgiou N D, et al. A Genetic Algorithm Solution to the Governor-Turbine Dynamic Model Identification in Multi-Machine Power Systems[C]// Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. Cdc-Ecc '05. IEEE Conference on. 2006: 1288-1294.
- [5] 苟小龙, 张杰, 王家胜, 等. 基于粒子群算法的汽轮机及其调速系统参数辨识方法[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(7): 1511-1516.  
GOU Xiao-long, ZHANG Jie, WANG Jia-sheng, et al. Parameter Identification Method of Steam Turbine and Its Speed Governor System Based on Particle Swarm Optimization[J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(7): 1511-1516.
- [6] Chaoshun Li, Li Chang, Zhengjun Huang, et al. Parameter identification of a nonlinear model of hydraulic turbine governing system with an elastic water hammer based on a modified gravitational search algorithm[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence (S0952-1976), 2016, 50(4): 177-191.
- [7] Chaoshun Li, Zhou J, Xiao H, et al. Predictive control of hydraulic turbine with gravitational search based fuzzy model identification[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(6): 272-277.
- [8] Chaoshun Li, Zhou J, Xiao J, et al. Hydraulic turbine governing system identification using T-S fuzzy model optimized by chaotic gravitational search algorithm[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence: (S0952-1976), 2013, 26(9): 2073-2082.
- [9] 张杰. 一种应用于汽轮机及其调节系统的智能寻优参数辨识方法[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.  
Zhang Jie. An Intelligent Optimization Parameter Identification Method Used in the Steam Turbine and its Governing System[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.

## 《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”证书

由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心,发布了2017版《中国学术期刊国际引证年报》,《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”。

《年报》(2017版)采用的统计源期刊为20192种,涵盖WoS收录的SCI期刊8874种、SSCI和A&HCI期刊4645种,ESCI期刊5578种;增补期刊1762种。参照中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标,计算期刊影响力指数(CI),对国内6210种学术期刊排序,遴选了人文社科、自然科学与工程技术两个类别的TOP10%为国际影响力品牌学术期刊。TOP5%以内的期刊为“最具国际影响力学术期刊”、TOP5-10%之间的为“国际影响力优秀学术期刊”。