

ICS 27.100

F 07

备案号: 50771-2015

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

**DL/T 1022 — 2015**

代替 DL/T 1022 — 2006

---

## 火电机组仿真机技术规范

Technical specification for fossil-fuel power plant simulator

2015-07-01 发布

2015-12-01 实施

---

国家能源局 发布

目 次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 术语和定义 ..... 1

3 仿真机构成要素 ..... 2

4 仿真机技术要求 ..... 4

5 性能指标 ..... 8

6 测试 ..... 9

7 资料 ..... 10

附录 A（规范性附录） 火电机组仿真机模型技术要求 ..... 11

附录 B（规范性附录） 火电机组仿真机开发资料要求 ..... 16

附录 C（规范性附录） 火电机组仿真机应用资料要求 ..... 22

附录 D（规范性附录） 火电机组仿真机典型故障仿真要求 ..... 24

## 前 言

本标准依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准代替 DL/T 1022—2006《火电机组仿真机技术规范》。

本标准与 DL/T 1022—2006 相比主要变化如下：

——对原标准仿真机构要素进行了修改（见第3章）。

——对仿真范围进行了修改、补充、完善，增加了脱硫脱硝、化学水、空冷系统等内容（见4.3）。

——对原标准的故障仿真要求进行了补充完善（见附录D）。

本标准由中国电力企业联合会提出并归口。

本标准起草（修订）单位：中国电力企业联合会技能鉴定与教育培训中心、华北电力大学、东南大学、南京工程学院、北京四方继保自动化股份有限公司。

本标准主要起草人：马永光、马士英、冷杉、董学育、周建章、徐纯毅。

本标准的历次版本发布情况为：

——DL/T 1022—2006

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 火电机组仿真机技术规范

## 1 范围

本标准规定了火电机组仿真机的仿真范围、基本技术要求、性能指标、验收测试项目和技术资料要求等。

本标准适用于以火力发电机组为仿真对象，以火电机组主控制室运行人员培训为主要目的的仿真机。

## 2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 2.1

**火力发电机组 fossil-fuel power plant**

以化石燃料燃烧产生热能发电的机组。

### 2.2

**模型 model**

对真实世界过程、概念或系统的结构、行为等某些方面特性的理想化近似表达。

### 2.3

**物理模型 physical model**

用物理相似的方法建立的模型。

### 2.4

**数学模型 mathematical model**

用数学符号和关系式表达的模型。

### 2.5

**仿真 simulation**

建立物理模型和/或建立数学模型，使其与真实世界过程、概念或系统在相同受控输入下的特性是相像的。

### 2.6

**仿真对象 simulation object**

被仿真的真实世界过程、概念或系统。

### 2.7

**环境仿真 environmental simulation**

对自然及人造环境的仿真。

### 2.8

**物理仿真 physical simulation**

使用物理模型对仿真对象的仿真。

### 2.9

**数字仿真 digital simulation**

使用数字计算机和数学模型软件对仿真对象的仿真。

### 2.10

**模拟仿真 analogue simulation**

使用模拟计算机和/或模拟电路对仿真对象的仿真。

2.11

**逼真度 fidelity**

物理模型和数学模型与仿真对象在特征、特性方面的相似程度。

2.12

**实时仿真 real-time simulation**

仿真过程中，在任一实际时间段内表达了仿真对象相同时间段的特性。

2.13

**仿真系统 simulation system**

利用仿真技术对仿真对象特征、特性或其他方面进行理想化近似表达的系统。

2.14

**仿真机 simulator**

以运行技能培训为目的，利用仿真技术对参考机组特征、特性进行理想化近似表达的仿真系统装置。

2.15

**参考机组 reference power plant**

仿真针对的特定火力发电机组。

2.16

**仿真计算机 simulation computer**

用于实施仿真的数字计算机。

2.17

**培训环境 training environment**

受训人员接受培训时所处的环境。

2.18

**盘台设备 panel and desk instrumentation**

仿真机或参考机组控制室中的盘台及盘台上安装的仪器仪表设备。

2.19

**激励式仿真 stimulation**

在仿真机中采用了与参考机组相同的全部或部分实际控制设备的仿真方式。

2.20

**外部参数 external parameter**

参考机组仿真范围内内部系统与外部系统相关联的参数。

3 仿真机构成要素

3.1 仿真机硬件构成

3.1.1 培训环境

培训环境包括仿真的控制室盘台设备或/和计算机控制系统操作员站、屏幕显示装置等。

3.1.2 主计算机

主计算机应具有完成参考机组仿真模型的实时运算和仿真系统功能。

3.1.3 教练员站

教练员站包括显示和操作设备。教练员站用于控制仿真机运行，实现培训功能，监视与评价受训人

员操作。

### 3.1.4 就地操作站

就地操作站包括显示和操作设备，可设计成模拟控制盘的形式。就地操作站用于实现在参考机组控制室以外进行操作的仿真。

### 3.1.5 仿真操作员站

仿真操作员站包括显示和操作设备。仿真操作员站仿真参考机组计算机控制系统的操作员站功能。

### 3.1.6 网络设备

网络设备指计算机通信网络设备，用于实现仿真系统计算机间的数据通信和交换。

### 3.1.7 输入/输出接口

输入/输出接口指由模拟/数字、数字/模拟转换电路构成的设备，用于实现仿真计算机与仿真盘台设备系统之间的数据转换和通信。

## 3.2 仿真机软件构成

### 3.2.1 过程模型软件

过程模型软件指对参考机组，在启动、停机过程中，正常、异常、事故工况下设备及系统的动态、静态特性进行实时连续仿真的软件。

### 3.2.2 控制系统仿真软件

控制系统仿真软件包括参考机组回路控制与逻辑控制的数学模型软件。

### 3.2.3 操作员站仿真软件

操作员站仿真软件指对参考机组操作员站的显示和操作功能进行仿真的软件。

### 3.2.4 教练员站软件

教练员站软件指用于实现仿真机控制、培训和监视功能的软件。

### 3.2.5 仿真支撑软件

仿真支撑软件指支撑仿真模型软件和其他仿真应用软件的设计、开发、调试、维护、修改、运行及数据管理的软件。

### 3.2.6 就地操作站软件

就地操作站软件指实现参考机组控制室外就地操作功能仿真的软件。

### 3.2.7 环境仿真软件

环境仿真软件指对参考机组控制室盘台设备，火焰、水位监视器功能，声响等效果进行仿真的软件。

### 3.2.8 诊断和测试软件

诊断和测试软件包括在线或离线诊断仿真装置硬件故障，帮助检查、维护系统和设备的测试软件。

### 3.2.9 工具软件和文档

工具软件和文档指用于仿真机使用、运行、维护的工具软件和相关的文档资料。

### 3.2.10 操作系统

计算机操作系统及实用程序。

## 4 仿真机技术要求

### 4.1 培训能力要求

#### 4.1.1 培训能力

仿真机应具有向受训人员提供参考机组的各种运行特性的能力,在对参考机组进行正常操作、异常操作或误操作,控制系统自动投入或切除,以及由教练员插入或取消模拟故障等情况下所产生的仿真机结果响应,都应参考参考机组的实际运行特性、运行规程和根据培训要求而设计的仿真机技术规范所描述的响应一致或相像。

#### 4.1.2 正常运行培训能力

仿真机可连续、实时地仿真参考机组的正常运行状况。仿真机的模型软件可根据具体的运行操作工况,计算出相应的机组测点参数,通过仿真培训界面显示出来,提供正确的控制、报警和保护系统动作。仿真机可提供的与参考机组相似的正常运行工况和操作过程应包括:

- a) 从各设备完全停运的冷态工况启动,直到 100%负荷工况;
- b) 机组从热态工况启动,直到 100%负荷工况;
- c) 锅炉、汽轮机、发电机或整个机组跳闸后工况重新恢复,直到正常运行工况;
- d) 机组从 100%负荷工况停机,直到热态工况,或冷却到冷态停运工况;
- e) 各种工况下对设备或系统进行规程规定的试验和定期轮换(例如,联锁试验或汽轮机阀门试验以及凝结水泵定期轮换等)。

#### 4.1.3 故障处理培训能力

仿真机可实时地仿真参考机组设备故障、性能下降、装置损坏和自动控制功能失灵等异常和事故工况。能仿真程度不同和渐变的故障(如锅炉管道泄漏、真空下降、凝汽器管道结垢等)。故障的仿真结果应能正确反映真实故障过程。

仿真的故障可由仿真运算结果自然引发、受训人员误操作引发或教练员加入引发。仿真故障发生后,仿真机的动态响应应与参考机组相同故障后的动态响应一致或相像,或与运行经验以及工程分析得到的估计动态响应相符合。对于在参考机组中经操作能够处理的故障,受训人员可以通过仿真操作处理相应的仿真故障。如果仿真操作处理不当,仿真机应产生与参考机组相应不当操作而产生的相同的事故扩展现象。各种情况下均应与现场反应一致或相像。

#### 4.1.4 仿真机运行极限

仿真机只限于在参考机组设计的运行极限范围内进行机组运行培训工作。如果仿真超出了这些范围,就可能产生不良的效果。为了避免这种状况出现,当某些参数超出参考机组模型或已知机组工况限制的预定极限时,仿真机应向教练员发出提示。

## 4.2 培训环境要求

### 4.2.1 控制盘台仿真

仿真控制室盘台在形状、尺寸、布局、颜色和功能性构造等方面宜与参考机组主控制室的盘台相同或相像。盘台在物理逼真度上的差异不应影响培训效果。

### 4.2.2 控制界面仿真

仿真控制盘台上应装有与参考机组主控制室控制盘台上相同或相像的仿真操作员站、控制器、仪表、记录仪、报警器和其他人机界面设备。设备的外观与操作监视功能应与参考机组控制室的相应设备一致或相像。

### 4.2.3 控制室环境仿真

对控制室环境的仿真可构造与实际主控制室相同的感官环境。控制室环境因素如下：

- a) 控制室中辅助设备、物品的布局；
- b) 机组通信系统的布局 and 实际使用；
- c) 控制室照明的布局和强度；
- d) 控制室噪声的类型和量级；
- e) 教练员站的布置方式不应严重影响控制室环境的仿真效果；
- f) 控制室通风良好，温度适宜。

## 4.3 仿真范围要求

火电机组仿真机主要用于火电机组主控制室运行人员的培训，对参考机组仿真的范围应主要以满足该目的而确定。

### 4.3.1 主控制室内操作和监视涉及的仿真范围

凡在参考机组主控制室进行的操作和监视，以及这些操作和监视所涉及的参考机组的设备和系统，均应含在被仿真的范围内。

### 4.3.2 就地操作涉及的仿真范围

仿真范围应包括参考机组在启停、运行、试验和故障处理过程中需要在主控制室外进行的操作和监视，以及这些操作和监视所涉及的参考机组的设备和系统。这些操作、监视、设备和系统应是被主控制室运行人员特别关注的。

### 4.3.3 外部参数

对于机组运行人员不可控制而又影响机组运行特性的因素，如煤种、环境温度、电网频率等要作为仿真的外部参数给予设置。外部参数可由教练员站进行更改，并能够正确地影响到仿真结果。

## 4.4 教练员站培训功能要求

### 4.4.1 对仿真机的控制功能

- a) 装入参考机组数学模型软件。
- b) 装入和存储参考机组的仿真初始工况。

教练员站应提供用于不同培训目的初始工况，教练员可从教练员站上选择这些初始工况。应有



如下典型的参考机组仿真初始工况：

- 1) 冷态；
- 2) 设备已送电工况；
- 3) 热态；
- 4) 极热态；
- 5) 吹扫前工况；
- 6) 冲转前工况；
- 7) 并网前工况；
- 8) 50%负荷；
- 9) 75%负荷；
- 10) 100%负荷。

除上述初始工况外，仿真机应提供足够多的备用初始工况存储点，并能根据需要加入、修改或删除初始工况。

- c) 运行和冻结模型：启动数学模型运算和暂停数学模型运算。
- d) 模型加速和减速：对局部或全部机组数学模型进行加速或减速运算。对局部机组数学模型加速或减速运算应不影响运算结果的精度。局部加减速率应达 10 倍。
- e) 快存：在模型运算中将当前的运算结果保存起来，该功能可由教练员设置定时自动进行，也可由教练员手动进行。可存储的运算结果点数量和可设置的定时间隔应使回退和重演功能满足培训的需要。
- f) 回退：将仿真运行工况返回到已经历过的某一快存点，并可自该工况重新开始仿真培训。
- g) 重演：将仿真运行工况返回到已经历过的某一快存点，并可自该工况开始将经历过的仿真过程自动重新演示。自动演示过程可随时终止。
- h) 事件记录：将仿真过程中的仿真培训操作和仿真过程中发生的报警等事件按发生时间顺序自动记录。该记录的内容应满足对仿真培训效果分析的需要。
- i) 状态检查：在装入仿真机初始工况后，自动检查仿真盘台上的操作设备状态是否与该工况一致，对不一致的操作设备状态点以明晰的方式提示出来，以便更正。

#### 4.4.2 仿真故障加入功能

在培训过程中，教练员应可方便地自教练员站选取和加入已设计的参考机组仿真故障，以培训受训人员进行故障分析和处理的能力。

#### 4.4.3 监视功能

- a) 参数监视：以数据列表、曲线、棒图或其他图形方式显示仿真计算数据，供教练员了解培训情况。教练员可选择需显示的数据。
- b) 受训人员技能辅助评价：教练员站应有受训人员操作技能水平的辅助评价功能，评价的依据和标准可由教练员配置和设定。

#### 4.4.4 外部参数设置功能

教练员站应能设置和更改如煤种、环境温度、电网频率等参考机组仿真的外部参数。

### 4.5 硬件要求

#### 4.5.1 仿真控制盘台

见 4.2 节。

#### 4.5.2 主计算机系统

主计算机系统在满足本标准规定的仿真功能及逼真度要求的条件下,应具有 50%以上的冗余 CPU 处理能力和 50%以上的冗余内外存空间。应具有不低于 100Mbit/s 的网络通信处理能力。

#### 4.5.3 其他计算机

仿真操作员站计算机、就地操作员站计算机、教练员站计算机、火焰水位声响的仿真计算机等都具有足够的 CPU 处理能力、内外存配置和不低于 100Mbit/s 的计算机网络通信能力,以满足实时仿真的需要;显示器的尺寸、外观与参考机组的相应设备一致或相像;色彩、分辨率指标应不低于参考机组的相应设备的指标。

#### 4.5.4 输入/输出接口系统

输入/输出接口系统应采用符合工业标准的通用组件设备,并且能满足本标准规定的仿真机实时性能指标。

#### 4.5.5 环境仿真系统

仿真的火焰、水位监视器外观应与参考机组的监视器外观相同或相像,应具有不低于参考机组监视器的色彩和分辨率指标。仿真控制室灯光照明应与参考机组控制室灯光照明相同或相像。仿真的报警装置产生的声响应与参考机组的相同或相像。

#### 4.5.6 网络设备

网络设备应具有不低于 100Mbit/s 的数据通信能力,应采用符合工业标准的计算机通信网络设备。

### 4.6 软件要求

#### 4.6.1 基本技术要求

除计算机操作系统、随计算机提供的实用软件和输入/输出接口中的软件等之外,仿真系统所有软件均应使用计算机高级语言或仿真语言编制。软件的开发应遵守软件工程的思想和方法。应有详细文档资料,具有可追溯性和可维护性。

#### 4.6.2 参考机组过程模型软件

参考机组过程模型是指除控制系统以外的火电机组生产流程设备和系统的数学模型。

过程模型的建立以参考机组的生产工艺流程、系统结构设计、机组设计计算和机组运行数据资料为依据。过程模型以实际物理过程为基础,遵循质量守恒、能量守恒和动量守恒定律,采用火力发电相关专业理论对过程的数学描述方法建立。难于用基本原理建立数学描述的局部系统可采用相关专业公认的经验公式、拟合函数等方法建立。

参考机组过程模型应是可反映机组各种可能运行工况动态和静态特性,且能满足实时运算要求的数学模型。该模型能够对火电机组设备及系统全范围和生产全过程进行实时连续的仿真。

过程模型应能接受所有的培训操作输入,并计算产生所有参考机组中供监视、控制和其他运行用途的仿真计算数据输出。

过程模型软件应使仿真机静态特性和动态特性与参考机组相同或相像。

参考机组过程模型软件应以模块化建模的方法建立。

火电机组仿真机模型技术要求见附录 A。

### 4.6.3 控制系统仿真软件

控制系统的数学模型应在功能上实现 1:1 的仿真,其调节特性和控制逻辑应与参考机组相同。控制系统数学模型应采用模块化建模的方法建立。

控制系统的模型软件可与机组过程模型软件混合建立,也可以其他方式独立建立。独立建立的控制系统数学模型与参考机组数学模型的连接和数据传输应保证仿真的实时性,并满足仿真机培训功能的要求。

### 4.6.4 操作员站仿真软件

操作员站仿真软件应实现参考机组运行人员所使用的操作员站人机界面功能的仿真。运行人员监视使用的画面应实现 1:1 的仿真,操作方式和功能应与参考机组的相同。画面更新操作的响应、速度与参考机组的相同。

### 4.6.5 就地操作站软件

就地操作站软件应能够实现与运行相关的就地操作的仿真。

### 4.6.6 教练员站软件

应实现 4.4 中描述的教练员站的培训功能要求。所有功能应方便教练员使用。

### 4.6.7 仿真支撑软件

可支撑仿真应用软件的设计、开发、调试、维护、修改和实时运行功能以及仿真数据管理功能。对于仿真机的用户,仿真支撑软件的设计、开发、调试、修改功能是可选项。

### 4.6.8 诊断和测试软件

可实现仿真装置硬件故障的在线或离线诊断,提供检查或维护系统和设备的功能。

## 5 性能指标

### 5.1 静态特性指标

仿真机静态指标评价宜以参考机组满负荷和某些较高负荷点的设计参数或运行数据为依据。在进行逼真度试验时,在 50% 以上高负荷范围内应有不少于三个负荷点的逼真度评价。

- a) 仿真机的仿真仪表误差应不大于参考机组相应的仪表、变送器及有关仪表系统的累积误差。
- b) 数学模型静态特性应保证质量守恒和能量守恒。
- c) 关键参数的计算值与参考机组相应的参数值的偏差应不超过测量仪表量程的  $\pm 1\%$ ; 非关键参数的计算值与参考机组相应的参数值的偏差应不超过测量仪表量程的 5%。关键参数指直接关系到机组能量平衡和质量平衡的参数。典型关键参数有:
  - 1) 主蒸汽流量、主蒸汽压力、主蒸汽温度;
  - 2) 给水流量;
  - 3) 电功率;
  - 4) 过热器和再热器的喷水流量;
  - 5) 过热器出口温度和压力;
  - 6) 高压缸第一级压力;
  - 7) 再热器出口温度和压力;
  - 8) 凝汽器压力;

- 9) 燃料量;
- 10) 总风量;
- 11) 排烟温度。

## 5.2 动态特性指标

动态特性指数模型在仿真参考机组启停、正常或异常操作运行、故障及故障处理等过程中自某一稳态向新的稳态过渡的特性, 仿真机应满足下列要求:

- a) 启停过程应符合参考机组的运行规程。
- b) 各参数的动态变化应符合对有关动态过程的分析结果, 并应符合物理规律。
- c) 报警和自动装置动作的仿真结果与参考机组相一致。
- d) 如有参考机组的热工动态特性曲线, 在相同的运行工况和操作情况下仿真结果和参考机组的热工动态特性曲线相近。

## 5.3 实时性指标

仿真操作及其响应应满足以下要求:

- a) 对盘台操作的响应时间不大于 0.5s。
- b) 对仿真操作员站和就地操作站的操作在保证仿真机静态和动态特性指标的情况下响应时间不大于参考机组相应的响应时间。

## 5.4 系统可靠性指标

- a) 主计算机两次故障间隔平均时间 (MTBF) 大于 4320h。
- b) 输入/输出接口系统两次故障间隔平均时间 (MTBF) 大于 2160h。
- c) 仿真机系统连续稳定运行时间不小于 72h。

# 6 测试

## 6.1 硬件系统测试

仿真机硬件系统测试的范围包括:

- a) 仿真控制盘台及设备的性能、功能及物理逼真度。
- b) 主计算机硬件系统的配置及性能。
- c) 其他计算机硬件系统的配置及性能。
- d) 输入/输出接口系统的配置及性能。
- e) 网络设备的配置及性能。
- f) 环境仿真系统的配置、性能及逼真度。
- g) 投影仪、打印机等其他设备的配置及性能。

## 6.2 软件系统测试

仿真机软件系统测试的范围包括:

- a) 模型软件测试, 通常包括:
  - 1) 模型仿真范围的完整性;
  - 2) 模型的稳定性;
  - 3) 启停操作时的动、静态特性;
  - 4) 在各种故障及故障处理时的动、静态特性;

- 5) 控制系统特性;
- 6) 模型运算的实时性。
- b) 操作员站仿真软件测试, 通常包括:
  - 1) 画面的完整性和正确性;
  - 2) 画面的逼真度及图标、数据的刷新特性;
  - 3) 操作响应的实时性。
- c) 就地操作员站软件测试, 通常包括:
  - 1) 就地操作的项目和在生产流程中的位置;
  - 2) 操作画面的布局及人机友好性;
  - 3) 就地操作的响应和实时性。
- d) 环境仿真软件测试, 通常包括:
  - 1) 火焰仿真画面的逼真度;
  - 2) 工况变化时火焰画面更新的实时性;
  - 3) 水位仿真画面的逼真度;
  - 4) 声响仿真的逼真度。
- e) 教练员站软件测试, 通常包括:
  - 1) 教练员站的控制功能;
  - 2) 教练员站的故障加入功能;
  - 3) 教练员站的监视和评价功能。
- f) 支撑软件测试, 通常包括:
  - 1) 模型的建立、修改、调试、运行、监视、数据管理、文件管理功能;
  - 2) 仿真机功能的建立和修改功能。
- g) 操作系统检查, 通常包括:
  - 1) 操作系统版本;
  - 2) 计算机编程语言及其他实用软件完备性。

### 6.3 可靠性测试

仿真机可靠性指标的统计和检验。

## 7 资料

### 7.1 基本要求

资料是仿真机的重要组成部分, 应满足用户技术人员对仿真机进行安装、运行和维护的需要以及仿真机开发的需要。资料应主要用中文编写, 部分进口设备的随机资料, 可以用原文提供。

### 7.2 仿真机开发资料

仿真机开发资料见附录 B 火电机组仿真机开发资料要求。

### 7.3 仿真机应用资料

仿真机应用资料见附录 C 火电机组仿真机应用资料要求。

### 7.4 仿真机典型故障

仿真机典型故障见附录 D 火电机组仿真机典型故障仿真要求。

附 录 A  
(规范性附录)  
火电机组仿真机模型技术要求

### A.1 总体要求

火电机组数学模型主要由锅炉系统模型、汽轮机系统模型或者燃气轮机模型、电气系统模型和控制  
系统模型组成。对模型技术的要求包括仿真范围和仿真特性两个方面。

#### A.1.1 仿真范围总体要求

根据参考机组的实际系统和仿真机用户的要求,确定出需要仿真的各个设备和系统,以及各系统仿  
真的详细程度。

确定仿真范围的指导原则如下:

- a) 火电机组仿真机的设计以培训火电机组主控制室的运行人员为主要目的。
- b) 操作员在参考机组控制室内所有的监视和操作,以及这些监视和操作所涉及的机组设备、系统,  
都应予以仿真。
- c) 在参考机组正常、异常和事故工况操作过程中必要的就地操作和监视,及其所涉及的设备和系  
统应该予以仿真,这些操作、监视、设备和系统应是被主控制室运行人员特别关注的。

#### A.1.2 仿真特性要求

数学模型应以物理机理为基础,以参考机组的设计数据、计算数据、现场运行试验数据为依据建立  
仿真数学模型。模型应完整地仿真参考机组的静态特性和动态过程特性,并包含所有与过程相关的故障  
特性,应满足逼真度和实时性的要求。

仿真机的数学模型应满足:

- a) 各热力系统的数学模型应严格遵守工质在各相域内的能量守恒、质量守恒和动量守恒定律,能  
如实反映工质的热力学特性。
- b) 流动过程数学模型应充分体现不同流体、流态的流动特性。真实反映工质压力、温度的变化。  
反映通道形状、工质积聚等对流动的影响。
- c) 传热过程数学模型中应考虑金属热容的影响,真实反映热惯性现象,同时传热面金属温度的计  
算可满足金属温度检测仿真的需要,计算结果可用于进一步的仿真计算(如热膨胀、胀差、应  
力仿真)。
- d) 换热系数的计算应以该换热过程的实际特性要求为依据,全面考虑换热方式(辐射换热、对流  
换热、传导换热、凝结换热、沸腾换热等)和工质特性等因素的影响,同时考虑换热面污染(如  
积灰、结垢)的影响。
- e) 各调节阀门或挡板的数学模型以其特性曲线为依据,能真实再现执行机构的调节特性。
- f) 泵、风机等设备应根据设备的特性曲线建立数学模型,准确反映设备启停及工况变动时压力、  
流量、电流等参数的动态变化过程。模型中应考虑泵的汽蚀和风机的喘振现象的仿真。
- g) 仿真数学模型能实现机组各种运行工况的仿真,包括各种启停操作、正常运行和故障运行工况  
的仿真,通过仿真控制室设备观测到的受训人员的操作结果(包括正确操作或误操作)与实际  
机组相一致。
- h) 控制系统仿真数学模型应完全复现参考机组的控制和逻辑关系,包括控制逻辑、顺控逻辑、各  
种联锁保护逻辑等。

- i) 电气系统仿真模型能够反映电气系统在各种运行工况下动态特性和静态特性;能够正确仿真保护、自动装置及控制信号回路,在系统或设备故障及事故情况下的动态响应;应正确反映操作过程,其逻辑关系、动作结果和产生的现象与实际相符。

## A.2 常规燃煤、燃油、燃气锅炉发电机组模型技术要求

### A.2.1 锅炉系统模型技术要求

#### A.2.1.1 锅炉系统仿真范围主要包括以下子系统:

- a) 锅炉汽水系统。
- b) 锅炉风烟系统。
- c) 燃料制备或油气输送系统与燃烧系统。
- d) 吹灰系统。
- e) 疏水、排汽与排污系统。
- f) 脱硫、脱硝系统。
- g) 压缩空气系统。

#### A.2.1.2 锅炉系统的数学模型应满足:

- a) 汽水系统的数学模型应根据流体汽相和液相的变化,以及受热面的不同分段建立模型。
- b) 正确反映汽水系统各个环节的动态特性及不同燃烧工况下各受热面间的热量分配情况。
- c) 正确反映风机的动态特性及风烟系统参数的变化(如流量、温度、压力)对各受热面换热和炉内燃烧传热状况的影响。
- d) 正确反映燃料制备系统各设备(如磨煤机、给煤机、给粉机等)的动态特性。
- e) 炉内燃烧模型能反映不同工况条件(如不同配风工况、燃料量变化、燃油工况、燃烧器倾角改变等)对炉内换热的影响及燃烧状况变化时炉内燃烧产物的变化。
- f) 正确反映吹灰系统的手动控制和程序控制以及对换热的影响。

### A.2.2 汽轮机系统模型技术要求

#### A.2.2.1 汽轮机系统的仿真范围主要包括以下子系统:

- a) 汽轮机本体。
- b) 主蒸汽、再热蒸汽及旁路系统。
- c) 回热抽汽系统。
- d) 辅汽系统。
- e) 凝结水系统。
- f) 除氧给水系统。
- g) 加热器及疏水系统。
- h) 轴封系统。
- i) 凝汽器及真空系统。
- j) 汽轮机调节保安系统。
- k) 润滑油系统。
- l) 循环冷却水系统或空冷系统。
- m) 工业水系统。
- n) 热网系统。
- o) 发电机冷却系统和密封油系统。
- p) 抗燃油系统。

### A.2.2.2 汽轮机系统数学模型应满足：

- a) 正确反映汽轮机各部分的流量、温度、压力在各种工况下的变化及对功率与内效率的影响；正确反映汽轮机转子转动惯量、转速、鼓风损失、转换效率、机械损失等。
- b) 正确反映汽轮机通过临界转速时和正常运行中的振动情况，转子偏心度、油温、胀差以及电气因素对振动的影响；正确反映汽轮机在变工况下金属温度、热膨胀、胀差、轴向位移、轴向推力、推力瓦温度等情况。
- c) 正确反映旁路系统的投入和停止及喷水减温调节的动态过程，以及旁路的投切对蒸汽温度、金属壁温、胀差、真空的影响。
- d) 正确反映汽轮机各段抽汽的流量、压力和温度及其变化对负荷的影响；正确反映抽汽量的变化对机组内效率的影响。
- e) 正确反映给水泵的启动、停止及各种运行方式，给水流量、压力变化对锅炉的影响。
- f) 正确反映加热器的投入、解列过程及其影响；正确反映各台加热器的解列对汽轮机汽耗、效率、发电机功率输出和轴向推力的影响。
- g) 正确反映轴封系统的运行状况对汽轮机胀差、凝汽器真空的影响；正确反映凝汽器真空与汽轮机负荷、循环水入口水温、抽气器（或真空泵）运行和轴封加热器的关系。
- h) 正确反映循环水量、循环水温对凝汽器换热的影响，以及循环水温、端差对凝汽器真空的影响，正确反映环境温度、风速、风向对空冷机组真空的影响。
- i) 正确反映冷却水对各转动机械、辅助设备、冷却器、冷油器等油、水温度的影响和变化。

### A.2.3 电气系统模型技术要求

#### A.2.3.1 电气系统仿真范围主要包括以下子系统：

- a) 发电机系统。
- b) 励磁系统及其调节系统。
- c) 主变压器系统。
- d) 发电机-变压器组的控制保护和信号系统。
- e) 厂用电系统。
- f) 厂用电保护、自动装置和信号。
- g) 柴油发电机及事故保安系统。
- h) 直流系统。
- i) 发电机冷却系统。
- j) 主接线系统及其保护、闭锁及信号。

#### A.2.3.2 电气系统数学模型应满足：

- a) 正确反映发电机的空载特性和各种不同负载下的有载特性（至少包括在不同频率、电压、电流、功率因数、励磁电流运行下的有载特性）。准确反映在异常和故障情况下的特性，异常和故障必须包括三相负载不平衡、断相、发电机内部短路、外部短路、定子接地、发电机欠励或失磁、发电机剧烈振荡等。
- b) 对并列操作的仿真，并网操作的定子电压电流、转子电压电流的变化应予以准确的仿真。
- c) 正确反映主、副励磁机各种工况下的参数变化，强行励磁和强行灭磁应包括在模型中；自动调节励磁和手动调节励磁的切换操作与调节特性的仿真与实际情况相符合。
- d) 正确反映不同工况（不同频率、电压、电流等）及内部或出口短路条件下主变压器系统的动态特性。
- e) 正确反映发电机-变压器组保护和信号的保护逻辑及保护的整定值。



- f) 正确反映高、低压厂用变压器的正常运行与故障条件下的动态特性。
- g) 正确反映厂用电系统中高、低压电动机启动、运行、停机、保护、故障操作, 6kV、400V 母线的重要负荷对厂用电母线电压的影响; 反映厂用电故障对汽轮机、锅炉重要辅机的影响。
- h) 正确反映直流系统、柴油发电机组、UPS 系统的电流、电压等相互关系。
- i) 正确反映电气主接线系统的正常运行和异常运行工况, 以及各种运行方式的切换。

#### A.2.4 控制系统模型技术要求

##### A.2.4.1 控制系统仿真范围包括:

- a) 机炉协调控制系统 (CCS)。
- b) 锅炉自动控制系统, 包括燃料调节系统、二次风风量调节系统、送风机调节系统、引风机调节系统、锅炉给水调节系统、过热蒸汽温度调节系统、再热蒸汽温度调节系统、燃油压力调节系统等。
- c) 顺序控制系统 (SCS)。
- d) 炉膛安全监控系统 (FSSS)。
- e) 保护和联锁系统。
- f) 汽轮机数字电液控制系统 (DEH)。
- g) 汽轮机自动调节系统, 包括轴封高压/低压调节系统、除氧器水位/压力调节系统、凝汽器水位调节系统、给水泵/凝结水泵最小流量调节系统、高/低压加热器水位调节系统等。
- h) 汽轮机旁路控制系统 (BPC)。
- i) 电气控制系统 (ECS)。
- j) 紧急跳闸系统 (ETS)。
- k) 上述各控制与保护系统的全部子系统。

##### A.2.4.2 控制系统数学模型应满足:

- a) 控制系统的功能组态结果与设计资料相符, 并满足机组正常和故障运行的需要。
- b) 调节系统的功能、特性与参考机组基本相同, 调节系统品质不低于实际系统。
- c) 调节系统逻辑动作准确无误。
- d) 各调节系统的手/自动切换逻辑及方式与设计资料完全一致。
- e) 各顺序控制功能组的逻辑动作关系及显示方式与设计资料一致。
- f) 燃烧器管理系统或炉膛安全监控系统的逻辑关系、操作及操作响应与设计资料一致。
- g) 热工信号逻辑关系正确, 光字盘、音响装置及计算机控制系统操作员站上发出的报警信号与设计资料一致。
- h) 各种保护和联锁系统的动作逻辑及动作结果与设计资料一致。
- i) 电液调节系统动作可靠, 能完全适应各种不同运行工况。

#### A.3 循环流化床发电机组模型技术要求

##### A.3.1 循环流化床锅炉系统仿真范围主要包括以下子系统:

- a) 循环流化床锅炉汽水系统。
- b) 循环流化床锅炉风烟系统。
- c) 燃料、石灰石制备与燃烧系统。
- d) 吹灰系统。
- e) 疏水、排汽与排污系统。

##### A.3.2 循环流化床锅炉数学模型应满足:

循环流化床锅炉系统的数学模型在满足常规燃煤机组模型要求的基础上, 风烟系统的模型还应该满

足如下要求:

- a) 正确仿真循环流化床的点火和启动方式(如床下点火方式、分床点火方式);正确反映出点火时床层升温过程以及各种参数的变化。
- b) 正确仿真炉内物料的流化,反映炉内气固浓度分布情况以及炉内温度分布情况。
- c) 正确反映流化床二氧化硫排放浓度和石灰石添加量以及循环倍率之间的关系。
- d) 正确反映旋风分离器的分离效率,以及循环倍率和流化风速以及颗粒浓度之间的关系。
- e) 正确反映炉内密相区和稀相区对水冷壁以及其他受热面的对流和辐射传热。
- f) 正确反映出燃料颗粒的粒径以及化学组成对炉膛气固浓度分布、温度分布以及传热效果的影响。
- g) 正确仿真石灰石制备系统。

#### A.3.3 汽轮机系统、电气系统、热工控制系统模型技术要求:

循环流化床发电机组中的汽轮机系统、电气系统、热工控制系统的仿真范围和模型技术要求与常规燃煤机组的要求相同。

### A.4 燃气蒸汽联合循环发电机组模型技术要求

#### A.4.1 燃气蒸汽联合循环发电机组仿真范围包括以下系统:

- a) 燃气轮机压气机。
- b) 燃气轮机透平。
- c) 燃烧室。
- d) 燃料气化净化和压缩系统。
- e) 余热锅炉。
- f) 蒸汽轮机。
- g) 给水和凝结水系统。
- h) 减速齿轮箱。
- i) 发电机组。
- j) 控制油及润滑油系统。
- k) 公用系统。

#### A.4.2 燃气蒸汽联合循环发电机组数学模型应满足:

- a) 正确建立燃气轮机、余热锅炉和蒸汽轮机及其辅助系统的数学模型。
- b) 能正确反映联合循环发电机组的启停过程和事故工况。
- c) 建立燃气轮机压气机、燃料压缩机的喘振模型,正确反映各参数变化对喘振曲线、防喘振执行机构的影响。
- d) 建立发电机组单轴或多轴控制系统模型,实现正确的冲转并网和升负荷过程。
- e) 建立余热锅炉控制系统、电气系统、公用系统等模型,实现机组闭环调节、逻辑控制和联锁保护。
- f) 仿真的燃气轮机、余热锅炉、蒸汽轮机、电气设备的有关操作和显示应与参考机组一致。

## 附录 B

### (规范性附录)

#### 火电机组仿真机开发资料要求

##### B.1 基本要求

不同类型和用途的仿真机,其开发所需要的资料有所不同。以下资料内容适用于全范围仿真机。对于原理型或简化型仿真机,其资料需求有所不同。仿真机开发资料基本由以下四部分组成:

- a) 控制室资料;
- b) 参考机组系统资料;
- c) 参考机组设备资料;
- d) 参考机组运行资料。

##### B.2 控制室资料

主要包括:

- a) 控制室盘台结构图;
- b) 盘台盘面布置图;
- c) 控制室平面布置图;
- d) 仪表清单,包括仪表种类、开孔尺寸型号、刻度、记录仪笔数、显示的参数名称等;
- e) 盘台仪表及操作设备的标示牌,包括颜色、字形、尺寸、位置;
- f) 全部光字牌,包括颜色、尺寸、内容及位置;
- g) 仿真机控制室结构图,包括平面图、室内高度、电源位置等。

##### B.3 参考机组系统资料

主要包括:

- a) 参考机组系统描述;
- b) 机组热力系统图册;
- c) 机组电气系统图册;
- d) 管道仪表图;
- e) 控制系统描述;
- f) 控制系统图;
- g) 功能逻辑图;
- h) 主要设备规范;
- i) 监控系统拷屏图;
- j) 参考机组运行规程;
- k) 设备参考手册。

##### B.4 参考机组设备资料

###### B.4.1 锅炉及其辅机或附属设备

###### B.4.1.1 锅炉

锅炉资料包括:

- a) 锅炉说明书;
- b) 锅炉热力计算书或热力计算数据汇总;
- c) 锅炉运行规程;
- d) 锅炉总图;
- e) 吹灰器布置图;
- f) 汽包纵剖面图及结构尺寸;
- g) 省煤器换热面积、容积及金属质量;
- h) 下降管及水冷壁的换热面积、容积及金属质量;
- i) 过热器、再热器的换热面积、容积及金属质量;
- j) 特定静态工况下风烟系统有关测点的压力。

#### B.4.1.2 空气预热器

- a) 设计规范;
- b) 布置及尺寸;
- c) 特定工况下烟气与空气的温度、流量及压力损失;
- d) 容积、换热面金属总质量。

#### B.4.1.3 除尘器

- a) 设计规范;
- b) 烟气阻力损失;
- c) 除尘效率。

#### B.4.1.4 烟囱

- a) 尺寸;
- b) 烟气阻力损失。

#### B.4.1.5 燃烧器

- a) 燃烧器说明书;
- b) 燃烧器布置图。

#### B.4.1.6 吹灰器

- a) 吹灰器说明书;
- b) 吹灰器安装位置图;
- c) 吹灰器控制逻辑;
- d) 吹灰器电机电流和工质压力;
- e) 操作手册。

#### B.4.1.7 锅炉安全门

- a) 通流量;
- b) 启座/回座压力定值。

#### B.4.1.8 给煤机

- a) 说明书;

- b) 特性曲线;
- c) 结构图;
- d) 堵煤状态下电动机最大电流;
- e) 额定工况电动机电流及空载电流。

#### B.4.1.9 磨煤机

- a) 说明书;
- b) 特性曲线;
- c) 纵剖面图;
- d) 堵煤状态下最大电流;
- e) 额定工况电动机电流及空载电流;
- f) 电动机所挂母线说明。

#### B.4.1.10 给粉机

- a) 说明书;
- b) 特性曲线;
- c) 堵粉状态下电动机电流;
- d) 正常运行工况电动机电流及空载电流;
- e) 电动机所挂母线说明。

#### B.4.1.11 风机

- a) 风机说明书;
- b) 特性曲线;
- c) 额定工况电动机电流及空载电流;
- d) 电动机所挂母线说明;
- e) 电动机控制逻辑;
- f) 入口导叶特性和调整行程时间;
- g) 出口挡板特性和调整行程时间;
- h) 汽动设备的相关资料;
- i) 变频设备相关资料。

#### B.4.1.12 风门和挡板

- a) 类型;
- b) 特性曲线;
- c) 特定工况通流量;
- d) 全行程开启/关闭时间;
- e) 失去驱动动力时的位置;
- f) 所挂电源母线说明。

#### B.4.1.13 原煤仓/煤粉仓

结构尺寸图。

## B.4.2 汽轮机及其辅机或附属设备

### B.4.2.1 汽轮机

- a) 设计规范;
- b) 汽轮机说明书;
- c) 汽轮机系统热平衡图;
- d) 汽轮机运行规程;
- e) 汽轮机本体纵剖面图;
- f) 主汽门特性曲线;
- g) 调节汽门特性曲线;
- h) 转子转动惯量和惰走曲线;
- i) 转子临界转速;
- j) 汽轮机冷态/热态/极热态启动曲线;
- k) 汽轮机正常/滑参数停机曲线;
- l) 典型稳定运行工况下蒸汽温度、压力、流量以及金属温度、抽汽压力、抽汽流量和胀差等。

### B.4.2.2 凝汽器

- a) 设计规范;
- b) 结构图及尺寸;
- c) 抽气器或真空泵的设计规范;
- d) 真空破坏门的设计规范;
- e) 热井结构图及尺寸;
- f) 换热管根数及尺寸;
- g) 热井溢流管安装位置。

### B.4.2.3 热交换器

- a) 设计规范;
- b) 类型、形状及尺寸;
- c) 纵剖面图;
- d) 换热管根数及尺寸。

### B.4.2.4 水箱、油箱和容器

- a) 形状和尺寸;
- b) 纵剖面图;
- c) 排放管位置图。

### B.4.2.5 水泵

- a) 说明书;
- b) 特性曲线;
- c) 电动机容量及特定工况电流;
- d) 电动机所挂母线说明;
- e) 汽动设备的相关资料;

- f) 变频设备相关资料。

#### B.4.2.6 阀门

- a) 阀门类型;
- b) 阀门特性;
- c) 全行程开启/关闭时间;
- d) 失去控制动力时的位置;
- e) 动力电源母线说明。

#### B.4.3 发电机及其辅机或附属设备

- a) 励磁系统说明书及设备规范;
- b) 发电机空载、负载饱和特性曲线;
- c) 发电机不同负荷工况的设计数据;
- d) 主变压器、厂用高压变压器的设备规范及其冷却系统的结构参数;
- e) 低压厂用变压器设备规范及主要技术参数;
- f) 运行规程(包括继电保护及自动装置运行规程);
- g) 额定工况及其他工况下运行记录数据(包括发电机、变压器、励磁系统等);
- h) 额定工况下定子铁芯温度、线圈温度、冷却水温、氢温等记录数据;
- i) 励磁机额定工况下的定子铁芯温度、线圈温度、冷却风温等记录数据。

#### B.4.4 控制系统

##### B.4.4.1 操作员站

- a) 操作员手册;
- b) 操作员站画面;
- c) 操作员站动态信息包括所有动态操作、动态显示信息及标签名;
- d) 操作员站各种记录功能说明、记录格式和内容;
- e) 报警及趋势数据库标签清单;
- f) 标签数据库清单。

##### B.4.4.2 模拟量控制系统(MCS系统)

- a) 系统说明;
- b) SAMA图或组态图及组态说明;
- c) 系统调试报告。

##### B.4.4.3 顺序控制系统(SCS系统)

- a) 系统说明;
- b) 逻辑图或组态及说明;
- c) SCS系统调试报告。

##### B.4.4.4 炉膛安全监控系统(FSSS系统)

- a) 系统说明;
- b) 逻辑图或组态及说明;

- c) FSSS 系统调试报告。

#### B.4.4.5 汽轮机调速及相关保护系统 (DEH 系统)

- a) 系统说明;
- b) 逻辑图/SAMA 图或组态及系统说明;
- c) DEH 系统调试报告;
- d) 调节阀阀杆升程曲线。

#### B.4.4.6 旁路控制系统 (BPC)

- a) 系统说明;
- b) 逻辑图/ SAMA 图或组态及系统说明。

#### B.4.4.7 ETS 系统

- a) 系统说明;
- b) 逻辑图或组态及说明;
- c) ETS 系统调试报告。

#### B.4.4.8 电气控制系统 (ECS)

- a) 系统说明;
- b) 逻辑图或组态及说明;
- c) ECS 系统调试报告。

### B.5 参考机组运行资料

参考机组运行资料用于验证仿真模型的准确性,并依此对模型进行精确调试。为在整个运行范围内检验仿真模型,需要提供稳定负荷下的完整运行数据和一些重要的变工况暂态过程记录。

需要的运行数据如下:

- a) 参考机组实际运行热平衡数据;
- b) 50%、70%、100%等负荷下的完整运行数据;
- c) 启动、停运、甩负荷、汽轮机跳闸等暂态过程的关键数据图表和趋势记录。



附 录 C  
(规范性附录)  
火电机组仿真机应用资料要求

**C.1 系统性资料**

- a) 供货清单:
  - 1) 硬件设备交付清单;
  - 2) 软件交付清单;
  - 3) 技术资料交付清单。
- b) 仿真机使用维护资料:
  - 1) 仿真机使用手册;
  - 2) 教练员手册;
  - 3) 仿真机软件维护参考手册;
  - 4) 仿真机系统布置图、电源;
  - 5) 网络连接图。
- c) 仿真机设计资料:
  - 1) 参考机组仿真系统图;
  - 2) 参考机组各组成部分的仿真范围、仿真程度和实现方案;
  - 3) 对参考机组仿真简化依据和简化说明。
- d) 仿真机全部运行版软件的备份光盘。

**C.2 硬件资料**

硬件资料应满足硬件维护人员维护、诊断硬件故障的需要。由于硬件配置方案存在较大差别, 凡涉及下列资料内容的应予以提供:

- a) 计算机厂家随机资料。
- b) 外围设备厂家随机资料 (如打印机、投影仪、UPS、交换机、音响等)。
- c) 输入输出接口系统硬件资料:
  - 1) 接口系统布置图;
  - 2) 接口设备使用维护手册;
  - 3) 输入/输出接口清单。
- d) 盘台硬件资料。
  - 1) 盘面布置图;
  - 2) 盘装设备清册;
  - 3) 盘台接线图;
  - 4) 各类盘装设备说明书;
  - 5) 端子排标识清册。

**C.3 软件资料**

软件资料应满足用户软件维护、技术人员对仿真机进行软件维护的需要。软件资料包括:

- a) 计算机厂家随机软件手册。
- b) 仿真机软件维护参考手册:

- 1) 仿真操作员站使用维护说明书;
  - 2) 就地操作站用户手册;
  - 3) 仿真系统诊断软件使用说明书;
  - 4) 多媒体仿真软件使用说明书。
- c) 仿真模型说明资料。

#### C.4 测试资料

- a) 仿真机测试大纲;
- b) 仿真机测试报告;
- c) 仿真机测试差异报告。

## 附录 D

### (规范性附录)

#### 火电机组仿真机典型故障仿真要求

##### D.1 锅炉系统故障

###### D.1.1 本体故障

受热面（主要是过热器、再热器、省煤器、水冷壁）泄漏或者爆管以及管外积灰或者结焦、管内结垢，尾部烟道再燃烧，系统漏风等故障。

###### D.1.2 风烟系统故障

空气预热器、送风机、引风机、一次风机等辅机保护跳闸、出力降低、摩擦振动、喘振或者失速、变频器故障及其辅助系统故障（油站系统油泵故障、滤网堵塞、冷油器堵塞或者泄漏）等。

###### D.1.3 制粉系统故障

磨煤机、给煤机保护跳闸，断煤、堵煤、着火、给煤机皮带跑偏、皮带打滑及其辅助系统故障（油站系统油泵故障、滤网堵塞、冷油器堵塞或者泄漏）等。

###### D.1.4 脱硫、脱硝系统故障

工艺水中断、增压风机故障、吸收塔再循环泵全停等脱硫系统故障；稀释风机故障、SCR 催化剂差压高等脱硝系统故障。

###### D.1.5 阀门（或挡板）类故障

各主要阀门或者挡板以及调节机构的误动作、卡涩等。

##### D.2 汽轮机系统故障

###### D.2.1 本体故障

汽轮机叶片断裂，喷嘴结垢，各个轴承摩擦振动，各轴承油路堵塞等。

###### D.2.2 汽轮机辅机故障

电动给水泵及其前置泵、汽动给水泵前置泵、凝结水泵、循环水泵、闭式（开式）冷却水泵等的保护跳闸、出力降低、轴承摩擦振动、变频器故障及其辅助系统故障（油系统油泵故障，滤网堵塞，冷油器堵塞或者泄漏）等。

###### D.2.3 汽轮机油系统故障

汽轮机以及给水泵汽轮机的润滑油系统故障（主油管道泄漏、油泵跳闸以及出力降低、滤网堵塞、冷油器漏油或者堵塞、主油箱漏油等），汽轮机以及给水泵汽轮机 EH 油系统故障（油泵跳闸以及出力降低、滤网堵塞、管道漏油等），发电机密封油系统故障等。

#### D.2.4 汽轮机回热系统故障

真空系列问题 [汽轮机以及给水泵汽轮机真空系统漏空气、凝汽器铜 (钛、钢) 管堵或者泄漏、真空泵故障等], 加热器泄漏等。

#### D.2.5 阀门类故障

各主要阀门或者调节机构的误动作、卡涩等。

### D.3 电气系统故障

#### D.3.1 发电机-变压器组故障

发电机定子接地、转子接地、失磁、非全相以及 TV 断线等, 励磁系统故障, 启备用变压器故障, 高压厂用变压器故障等。

#### D.3.2 厂用电系统故障

- a) 低压厂用电系统故障、母线故障以及备自投故障等。
- b) 高压厂用电系统故障、母线故障、快切装置故障、TV 故障等。
- c) 保安系统故障、直流系统故障、柴油机故障等。
- d) 重要设备拒动。

#### D.4 控制系统故障

I/O 卡件故障、I/O 测点强制等。

#### D.5 综合类故障

锅炉灭火、RB、机组甩全负荷、全厂厂用电失去、炉底水封破坏、闭式冷却水中断和压缩空气失气等故障。

中 华 人 民 共 和 国  
电 力 行 业 标 准  
火 电 机 组 仿 真 机 技 术 规 范

DL/T 1022—2015

代替 DL/T 1022—2006

\*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

\*

2016年4月第一版 2016年4月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 1.75印张 51千字

印数 001—300册

\*

统一书号 155123·2902 定价 15.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

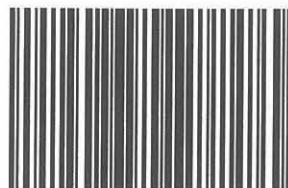
版 权 专 有 翻 印 必 究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.2902