

ICS 27.100  
F 07  
备案号: 50773-2015

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1024 — 2015  
代替 DL/T 1024 — 2006

---

## 水电仿真机技术规范

Technical specification for hydroelectric 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 仿真机性能指标	8
6 仿真机测试	9
7 资料	11
附录 A (规范性附录) 水电仿真机事故与故障类型要求	12
附录 B (规范性附录) 水电仿真机模型技术要求	20
附录 C (规范性附录) 水电仿真机开发资料要求	23
附录 D (规范性附录) 水电仿真机应用资料要求	25

## 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 1024—2006《水电仿真机技术规范》。与 DL/T 1024—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，增加了抽水蓄能电站等相关内容（见 4.3）。

——对原标准的故障仿真要求进行了补充、完善（见附录 A）。

本标准由中国电力企业联合会提出并归口。

本标准起草单位：中国电力企业联合会技能鉴定与教育培训中心、国网新源丰满培训中心、保定华仿科技有限公司、国电大渡河公司龚嘴水力发电总厂。

本标准主要起草人：李奎生、贡献、余林、徐纯毅。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——DL/T 1024—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）。

# 水电仿真机技术规范

## 1 范围

本标准规定了全范围培训型水电仿真机的构成要素、技术要求、性能指标、测试和资料等方面内容。对于其他类型的水电仿真机所涉及的本标准已作规定的内容，应按本标准的相应要求执行。

本标准适用于以水力发电厂、抽水蓄能电站为仿真对象的仿真机。

## 2 术语和定义

下列术语和定义专门针对水电仿真机，适用于本标准。

### 2.1

**水力发电厂 hydroelectric power plant**

将水的势能和动能转换为电能的工厂。

### 2.2

**抽水蓄能电站 pumped storage power station**

利用电力负荷低谷时的电能抽水至上水库，在电力负荷高峰期再放水至下水库发电的水电站。

### 2.3

**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。

### 2.4

**物理模型 physical model**

用物理相似的方法建立的模型。

### 2.5

**数学模型 mathematical model**

用数学符号和关系式表达的模型。

### 2.6

**仿真 simulation**

建立物理模型和/或数学模型，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似的。

### 2.7

**仿真对象 simulation object**

被仿真的真实世界过程、概念或系统。本规范中特指被仿真的特定水力发电厂、抽水蓄能电站。

### 2.8

**环境仿真 environment simulation**

对自然及人造环境的仿真。

### 2.9

**物理仿真 physical simulation**

使用物理模型对仿真对象的仿真。

### 2.10

**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。

2.11

**模拟仿真 analogue simulation**

使用模拟计算机或/和模拟电路对仿真对象的仿真。

2.12

**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。

2.13

**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。

2.14

**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。

2.15

**仿真机 simulator**

以运行技能培训为目的，利用仿真技术对仿真对象特征、特性进行理想化近似表达的仿真系统装置。

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**

仿真机或仿真对象的盘台、盘台装仪器仪表设备。

2.19

**激励式仿真 stimulation**

在仿真机中采用了与仿真对象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**

仿真对象仿真范围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 硬件构成

3.1.1 培训环境

培训环境应包括盘台设备的外观及外在功能、操作员站的外观和布局、就地操作站的外观和布局、屏幕显示装置等。

3.1.2 主计算机

主计算机是指高性能数字计算机及其外围设备，用以完成参考机组仿真模型的实时运算和仿真系统功能的实现。

### 3.1.3 教练员站

教练员站包括显示和操作设备，可配置附加的手持无线遥控器、打印机和其他的一些设备。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 操作员站

操作员站包括显示和操作设备。操作员站对仿真对象的计算机监控系统功能进行仿真，为受训人员提供培训操作平台，包括操作、监视、信息记录等功能。

### 3.1.5 就地操作站

就地操作站包括显示和操作设备。就地操作站实现对中央控制室外就地设备操作的仿真，为受训人员提供就地操作平台。对于某些类型的水电仿真机，就地操作站是可省略的。

### 3.1.6 网络设备

网络设备实现仿真计算机之间的数据交换和通信。

### 3.1.7 输入输出接口设备

输入输出接口设备是指由模拟/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 软件构成

### 3.2.1 模型仿真软件

在正常、异常、事故工况的全范围内，实现对仿真对象的动态、静态特性实时连续仿真的软件。

### 3.2.2 操作员站仿真软件

实现操作员站的操作、显示功能的软件。

### 3.2.3 教练员站软件

为教练员提供全部的仿真控制、培训和监视功能的软件。

### 3.2.4 仿真支撑软件

支持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。

### 3.2.5 就地操作站仿真软件

实现仿真对象的计算机监控系统外就地操作、显示功能的仿真软件。

### 3.2.6 操作系统软件

计算机操作系统及应用软件。

### 3.2.7 诊断和测试软件

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。

### 3.3 工具软件 and 资料

用于仿真机使用、运行、维护的工具软件和相关的文档资料。

## 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仿真对象的各种运行特性的能力，在对仿真对象正常操作、异常操作和误操作，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的仿真而产生的仿真机结果响应，都应与仿真对象的实际运行特性、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

##### 4.1.2.1 正常运行和操作的仿真效果

正常运行和操作的仿真效果应与仿真对象一致。

##### 4.1.2.2 正常运行和操作的仿真范围

正常运行和操作的仿真范围主要包括：

- a) 主阀（球阀）/快速闸门系统的正常运行和操作；
- b) 油压装置系统的正常运行和操作；
- c) 机组调速系统的正常运行和操作；
- d) 技术供排水系统的正常运行和操作；
- e) 压缩空气系统的正常运行和操作；
- f) 机组制动系统的正常运行和操作；
- g) 发电机励磁系统的正常运行和操作；
- h) 保护装置的正常运行和操作；
- i) 机组正常启停、并网、解列、负荷调整；
- j) 厂用系统的正常运行和操作；
- k) 直流系统的正常运行和操作；
- l) 开关站的正常运行和操作；
- m) 抽水蓄能机组发电、发电调相、抽水、抽水调相、静止等运行工况的正常启停和工况转换；
- n) 计算机监控系统的正常运行和操作；
- o) 静止变频器（SFC）系统的正常运行和操作；
- p) 机组在线监测系统的正常运行和操作；
- q) 主变压器的正常运行和操作；
- r) 检修、渗漏排水系统的正常运行和操作。

#### 4.1.3 事故与故障仿真

##### 4.1.3.1 事故与故障的仿真效果

事故与故障的仿真效果应满足下列要求：

- a) 仿真机对事故与故障的仿真应能够实时、准确地反映真实的事故与故障现象。发生事故与故障时，仿真机仿真的动、静态特性与仿真对象在事故与故障时的动、静态特性一致或相像，或与运行经验和工程分析所估计得到的动、静态特性相符合。
- b) 仿真对象的事故与故障可通过运行人员的操作得以消除。在仿真机上，运行人员亦可通过操作以消除事故与故障的影响，或恢复机组正常运行。
- c) 故障处理不当，引起事故与故障扩大的效果与仿真对象的真实现象一致或相像。

#### 4.1.3.2 事故与故障的仿真范围

事故与故障的仿真范围（详细内容见附录 A）至少应包括：

- a) 水轮机/水泵水轮机及辅助系统事故与故障；
- b) 调速系统事故与故障；
- c) 发电机/发电电动机及辅助系统事故与故障；
- d) 公用系统事故与故障；
- e) 主变压器及辅助系统事故与故障；
- f) 直流系统事故与故障；
- g) 厂用系统事故与故障；
- h) 开关站事故与故障；
- i) 继电保护和自动装置的事故与故障；
- j) 自动控制系统的事故与故障；
- k) 静止变频器事故与故障；
- l) 换相隔离开关事故与故障；
- m) 黑启动的运行功能。

## 4.2 培训环境

培训环境逼真度应满足培训要求。

### 4.2.1 仿真盘台设备

仿真盘台设备的外观和功能应与仿真对象一致。

### 4.2.2 操作员站

操作员站主要功能应与仿真对象操作员站一致。

### 4.2.3 就地操作站

就地操作站应实现仿真对象就地设备操作的仿真，仿真效果应尽量与仿真对象一致。

### 4.2.4 声光报警系统

声光报警系统仿真的效果应与仿真对象相似。

## 4.3 仿真范围

### 4.3.1 操作员站

计算机监控系统内进行的操作和监视均应在仿真范围内。



#### 4.3.2 就地操作站

对于仿真对象在启停、运行、试验和故障处理过程中需要进行的计算机监控系统外的操作和监视所涉及的仿真对象的设备和系统，均应含在被仿真范围内。

#### 4.3.3 外部参数

对于运行人员不可控制而又影响机组运行特性的因素，如室内外环境温度、上下游水位、电网电压频率等，应作为外部参数，可在教练员站进行设置，并能够真实地影响仿真效果。

### 4.4 教练员站功能

教练员站是教练员对仿真机及培训过程进行控制和监视的设备，教练员站应具备以下功能。

#### 4.4.1 仿真机的控制功能

仿真机的控制功能应包括：

- a) 启动和关闭仿真机。
- b) 装入、卸载模型软件。
- c) 设置、存储和管理仿真初始工况。
- d) 冻结和解冻：冻结是指在仿真机运行过程中，暂停模型运算并保持当时工况；解冻是指仿真机自冻结工况重新启动模型运算。
- e) 加速和减速：对于仿真对象的某些变化过程，将仿真机的计算和输出间隔减小或加大，使该过程的仿真快于或慢于实际变化过程。
- f) 快存：在培训过程中可快速存储任一时刻的特定工况，以便将来作为初始条件调用。该功能可由教练员设置定时自动进行，亦可随时由教练员手动进行。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。
- g) 回退：将仿真机运行工况返回到已经历过的某一快存点，并可自该工况点重新开始运行。
- h) 重演：将仿真机运行工况返回到已经历过的某一快存点，并自该工况点开始将刚经历的仿真过程自动重新演示。
- i) 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过程的分析要求。
- j) 状态检查：在装入仿真机初始工况后，检查仿真盘台设备上的操作设备状态是否与该工况一致，以明晰的方式提示不一致的操作设备状态点，以便更正。

#### 4.4.2 故障设置和消除功能

在培训过程中，教练员可方便地手动设置或预编程序设置仿真对象的模拟故障，可消除已设置的故障。

#### 4.4.3 监视功能

监视功能应具备下列功能：

- 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。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

教练员站应具备设置和更改外部参数的功能。

#### 4.4.5 初始工况

仿真机应能提供不同的初始工况，教练员可设置、修改或删除初始工况。初始工况至少应包括以下典型工况：

- a) 机组变压器全停工况；
- b) 主阀（球阀）/快速闸门全关闭运行工况；
- c) 机组空转运行工况；
- d) 机组空载运行工况；
- e) 机组带 50%负荷运行工况；
- f) 机组满负荷运行工况；
- g) 电气主接线不同方式的运行工况。

#### 4.5 仿真机硬件

##### 4.5.1 盘台设备

见 4.2.1。

##### 4.5.2 仿真计算机

仿真计算机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 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。

##### 4.5.4 网络设备

网络设备应满足数据通信要求。

#### 4.6 仿真机软件

##### 4.6.1 基本技术要求

除计算机操作系统、随计算机提供的应用程序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 模型软件

模型软件包括设备模型软件和控制系統模型软件。模型技术要求见附录 B。

##### 4.6.3 操作员站软件

操作员站软件应实现仿真对象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仿真对象相同。画面更新操作的响应、速度与仿真对象相同。

#### 4.6.4 教练员站软件

实现教练员站的功能，应符合 4.4 的要求。

#### 4.6.5 仿真支撑软件

可支持仿真应用软件的开发、维护、修改、调试、实时运行功能和仿真数据库管理功能。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。

#### 4.6.6 操作系统软件

仿真机应使用能够满足水电仿真机需要的实时、多任务、多用户的操作系统。

#### 4.6.7 就地操作站仿真软件

就地操作站仿真软件应能够满足仿真对象的计算机监控系统外就地操作功能的仿真。

#### 4.6.8 诊断和测试软件

包括在线或离线诊断仿真装置硬件故障的诊断软件，提供帮助检查或维护系统和设备的诊断程序。

### 5 仿真机性能指标

#### 5.1 静态性能指标

对仿真机静态性能指标的考核以仿真对象的设计参数、运行和试验数据为依据，至少应在三个典型工况下进行性能考核：

- a) 仿真盘台设备上显示的参数值为叠加了仪表误差的计算值，仿真机的仪表误差不应大于仿真对象相应的仪表、变送器及有关仪表系统的误差；
- b) 关键参数在稳定的状态下，与仿真对象相应参数值的偏差不超过测量仪表量程的 $\pm 1\%$ ；
- c) 非关键参数在稳定的状态下，与仿真对象相应参数值的偏差不超过测量仪表量程的 $\pm 5\%$ ；
- d) 典型的关键参数如下：
  - 1) 发电机有功功率；
  - 2) 发电机无功功率；
  - 3) 机组转速；
  - 4) 导叶、轮叶的开度；
  - 5) 电站上、下游水位；
  - 6) 发电机定子、转子温度；
  - 7) 发电机励磁系统电流和电压；
  - 8) 水轮发电机组各轴承温度和油位；
  - 9) 油压装置压力和油位；
  - 10) 厂用系统电压、电流；
  - 11) 直流系统电压、电流；
  - 12) 技术供水压力；
  - 13) 机械制动装置压力；
  - 14) 压缩空气系统压力；
  - 15) 电制动电流；

- 16) 主变压器温度;
- 17) 母线电压、频率;
- 18) 出线有功功率、无功功率、电流、电压;
- 19) 公用系统的液位、压力等。

## 5.2 动态性能指标

仿真机动态性能指标的考核以仿真对象或相同类型仿真对象的动态特性、运行和试验数据,以及由运行经验和工程分析所估计得到的动态特性为依据。仿真机应满足下列要求:

- a) 正常、非正常运行过程中,仿真参数的变化趋势应符合上述仿真机动态性能考核依据,不应违反基本物理定律;
- b) 运行过程中,报警、自动装置动作仿真结果与仿真对象相一致;
- c) 相同的运行工况和操作情况下,关键参数的动态特性与用户提供的仿真对象相应参数的动态特性相像。

## 5.3 实时性指标

实时性指标应满足下列要求:

- a) 盘台操作的响应时间不大于 0.5s;
- b) 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,响应时间不大于仿真对象相应的响应时间。

## 5.4 系统可靠性指标

系统可靠性指标应满足下列要求:

- a) 计算机主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大于 2160h。

# 6 仿真机测试

## 6.1 硬件测试

仿真机硬件测试的范围包括:

- a) 盘台设备性能配置、功能及逼真度;
- b) 仿真计算机硬件系统及外部设备的性能配置;
- c) 输入输出接口系统的性能配置;
- d) 网络设备的性能配置;
- e) 声光报警系统的性能配置。

## 6.2 软件测试

### 6.2.1 模型软件测试

仿真机模型软件测试的范围包括:

- a) 模型仿真范围的完整性;
- b) 模型的稳定性;
- c) 模型的静态特性及逼真度;

- d) 模型的动态特性;
- e) 模型运算的实时性。

#### 6.2.2 操作员站软件测试

操作员站软件测试的范围包括:

- a) 操作员站界面的完整性;
- b) 操作员站界面的逼真度;
- c) 操作员站界面响应的实时性。

#### 6.2.3 教练员站软件测试

教练员站软件测试的范围包括:

- a) 教练员站的控制功能;
- b) 教练员站的故障设置和消除功能;
- c) 教练员站的监视功能。

#### 6.2.4 支撑软件测试

模型的建立、修改、调试、运行、监视、数据管理和文件管理功能测试。

#### 6.2.5 就地操作站软件测试

仿真机就地操作站软件测试的范围包括:

- a) 就地操作站功能的完整性;
- b) 就地操作站的逼真度;
- c) 就地操作站数据响应的实时性。

#### 6.2.6 操作系统检查

操作系统检查应包括:

- a) 操作系统版本检查;
- b) 软件开发工具等应用软件的版本及完整性检查;
- c) 备份或安装媒体及资料。

#### 6.2.7 诊断和测试软件测试

诊断和测试软件的测试应包括:

- a) 诊断和测试软件的完整性;
- b) 诊断和测试软件的准确性。

#### 6.2.8 仿真盘台硬件及输入/输出接口测试

仿真盘台硬件及输入/输出接口的测试应包括:

- a) 仿真盘台设备的外观和功能应与仿真对象一致;
- b) 输入/输出接口系统的通信准确性;
- c) 输入/输出接口系统响应的实时性。

### 6.3 可靠性测试

仿真机系统连续稳定运行时间不小于 72h。

## 7 资料

### 7.1 基本要求

资料是水电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。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 仿真机资料要求

仿真机资料分为仿真机开发资料和仿真机应用资料：

- a) 水电仿真机开发资料要求见附录 C；
- b) 水电仿真机应用资料要求见附录 D。

附 录 A  
(规范性附录)

水电仿真机事故与故障类型要求

A.1 水轮机/水泵水轮机及辅助系统事故与故障

水轮机/水泵水轮机及辅助系统事故与故障包括：

- a) 水轮机主机事故与故障：
  - 1) 推力轴承瓦温升高事故；
  - 2) 导轴承瓦温升高事故；
  - 3) 事故电磁阀动作；
  - 4) 水轮机顶盖或轴承座振动过大；
  - 5) 水轮机轴摆度过大；
  - 6) 机组超速；
  - 7) 剪断销剪断；
  - 8) 导轴承温度升高故障；
  - 9) 推力轴承温度升高故障；
  - 10) 推力轴承油槽油位异常；
  - 11) 导轴承油槽油位异常；
  - 12) 顶盖水位升高；
  - 13) 真空破坏阀漏水；
  - 14) 发电机热风、冷风温度高；
  - 15) 机组甩负荷；
  - 16) 机组启动或停机在规定时间内未完成；
  - 17) 机组潜动；
  - 18) 机组进水口拦污栅堵塞故障；
  - 19) 自动开机/抽水不成功。
- b) 主阀/球阀/快速闸门故障：
  - 1) 油泵电源故障；
  - 2) 油泵电动机过热；
  - 3) 油泵电动机断相；
  - 4) 油系统故障；
  - 5) 快速闸门下滑故障；
  - 6) 机械系统拒动；
  - 7) 电磁配压阀发卡；
  - 8) 球阀在开启过程中不正常关闭（突然关闭）；
  - 9) 主阀/球阀工作密封不能退出；
  - 10) 主阀/球阀工作密封不能投入；
  - 11) 主阀/球阀液压锁锭不能退出。
- c) 油压装置事故与故障：
  - 1) 油压装置事故低油压；
  - 2) 油压装置压油槽油位异常（过高或过低）；

- 3) 油压装置压油槽油压异常 (过高或过低);
  - 4) 油压装置集油槽油位异常 (过高或过低);
  - 5) 油压装置集油槽油混水;
  - 6) 油压装置漏油槽油位异常 (过高或过低);
  - 7) 油压装置漏油槽油混水;
  - 8) 压油泵备用泵启动;
  - 9) 压油泵电源故障;
  - 10) 漏油泵电源故障;
  - 11) 压油泵电动机过热;
  - 12) 压油泵电动机断相;
  - 13) 压油泵长时间运行;
  - 14) 漏油泵电动机过热;
  - 15) 压油系统常开阀误关;
  - 16) 安全阀误动、拒动。
- d) 技术供水系统事故与故障:
- 1) 水导轴承润滑水中断事故;
  - 2) 主轴密封水中断事故;
  - 3) 机组冷却水中断故障;
  - 4) 水润滑轴承主用润滑水中断, 备用润滑水投入故障;
  - 5) 主轴密封水中断, 备用密封水投入故障;
  - 6) 技术供水滤过器堵塞;
  - 7) 技术供水冷却水水压降低;
  - 8) 技术供水取水口堵塞;
  - 9) 技术供水常开阀误关;
  - 10) 技术供水调节阀开度异常;
  - 11) 技术供水泵备用泵启动;
  - 12) 技术供水泵电源故障;
  - 13) 技术供水泵电动机断相;
  - 14) 技术供水泵电动机过热;
  - 15) 技术供水电磁阀发卡。
- e) 压缩空气系统事故与故障:
- 1) 低压用气系统压力异常;
  - 2) 高压用气系统压力异常;
  - 3) 主压水阀无法正常操作;
  - 4) 调相压水气罐压力低报警;
  - 5) 蜗壳排气阀故障;
  - 6) 压缩空气系统管路异常;
  - 7) 风闸误投;
  - 8) 电磁阀发卡。

## A.2 调速系统事故与故障

调速系统事故与故障包括:

- a) 调速器运行不稳定;



- b) 主配压阀故障;
- c) 继电器抽动;
- d) 电液调节系统故障;
- e) 导叶、轮叶主接力器故障;
- f) 导叶、轮叶零点漂移;
- g) 导叶、轮叶控制故障;
- h) 导叶、轮叶液压系统故障;
- i) 开度限制机构控制失灵;
- j) 继电器锁锭失灵。

### A.3 发电机及辅助系统事故与故障

发电机及辅助系统事故与故障包括:

- a) 发电机定子事故与故障:
  - 1) 发电机定子绕组单相接地;
  - 2) 发电机定子绕组匝间短路;
  - 3) 发电机定子绕组相间短路;
  - 4) 发电机定子绕组温度过高;
  - 5) 发电机过负荷;
  - 6) 发电机过电压;
  - 7) 发电机低压过电流。
- b) 发电机转子事故与故障:
  - 1) 转子一点接地;
  - 2) 转子两点接地;
  - 3) 发电机失磁。
- c) 励磁系统事故与故障:
  - 1) 发电机灭磁开关合闸回路故障;
  - 2) 励磁机灭磁开关跳闸回路故障;
  - 3) 运行中发电机灭磁开关误跳;
  - 4) 励磁电压互感器故障;
  - 5) 励磁机调节器控制回路故障;
  - 6) 励磁调节器故障;
  - 7) 励磁功率柜故障;
  - 8) 低励限制动作;
  - 9) 励磁系统建压不成功。
- d) 断路器、隔离开关事故与故障:
  - 1) 发电机-变压器组出口断路器拒合、拒分;
  - 2) 发电机-变压器组出口断路器油泵故障;
  - 3) 发电机-变压器组出口断路器压力异常;
  - 4) 运行中发电机-变压器组出口断路器误跳;
  - 5) 发电机出口断路器电动机故障。
- e) 同期装置事故与故障:
  - 1) 发电机非同期并列;
  - 2) 监控机升压/降压失控;

- 3) 就地加/减有功操作故障;
  - 4) 就地加/减无功操作故障;
  - 5) 监控机加/减速故障;
  - 6) 系统电压互感器信号故障;
  - 7) 发电机电压互感器变换故障, 并网时引起不同程度的非同期合闸;
  - 8) 监控机合闸信号输出故障。
- f) 保护有关事故与故障:
- 1) 发电机差动保护拒动;
  - 2) 发电机-变压器组差动保护拒动;
  - 3) 横差保护拒动;
  - 4) 发电机-变压器组保护柜故障;
  - 5) 发电机电压互感器故障。
- g) 顺序控制事故与故障:
- 1) 自动开机、停机不成功;
  - 2) 发电调相不成功;
  - 3) 抽水不成功;
  - 4) 抽水调相不成功。
- h) 电制动装置事故与故障:
- 1) 磁场开关拒动;
  - 2) 短路开关拒动;
  - 3) 整流柜风机跳闸;
  - 4) 整流器故障;
  - 5) 电制动启动回路故障。

#### A.4 公用系统事故与故障

公用系统事故与故障包括:

- a) 检修、渗漏排水系统事故与故障:
- 1) 润滑系统压力异常;
  - 2) 排水液位异常升高;
  - 3) 排水系统管路异常;
  - 4) 排水泵电源故障;
  - 5) 排水泵过热;
  - 6) 排水泵电动机断相。
- b) 高、低压空气压缩机事故与故障:
- 1) 润滑系统压力异常;
  - 2) 高、低压空气压缩机温度升高;
  - 3) 高、低压空气压缩机电源异常;
  - 4) 高、低压系统压力异常;
  - 5) 高、低压空气压缩机冷却系统故障;
  - 6) 安全阀误动、拒动;
  - 7) 压缩空气系统管路异常;
  - 8) 电磁阀发卡。
- c) 消火供水系统事故与故障:

- 1) 消火供水系统管路异常;
- 2) 消火供水水泵电源故障;
- 3) 消火供水水泵过热;
- 4) 消火供水水泵电动机断相;
- 5) 发电机消火;
- 6) 变压器消火;
- 7) 中控室消防系统自动启动失灵。

#### A.5 主变压器及辅助系统事故与故障

主变压器及辅助系统事故与故障包括:

- a) 主变压器单相接地;
- b) 主变压器匝间短路;
- c) 主变压器相间短路;
- d) 主变压器过负荷;
- e) 主变压器着火;
- f) 重瓦斯保护动作;
- g) 轻瓦斯保护动作;
- h) 主变压器套管闪络;
- i) 主变压器油位低;
- j) 主变压器油温过高;
- k) 主变压器防爆管安全膜破裂;
- l) 主变压器套管油位低;
- m) 主变压器吸潮器潮解;
- n) 变压器有载调压器故障;
- o) 主变压器冷却系统故障;
- p) 主变压器油泵电动机故障。

#### A.6 直流系统事故与故障

直流系统事故与故障包括:

- a) 直流系统蓄电池部分事故与故障:
  - 1) 直流系统蓄电池接地;
  - 2) 直流系统蓄电池熔断器熔断。
- b) 直流系统母线故障:
  - 1) 母线正极接地;
  - 2) 母线负极接地;
  - 3) 母线短路;
  - 4) 母线上机组励磁柜短路;
  - 5) 母线上断路器操作电源掉电;
  - 6) 母线上中控室信号回路掉电。
- c) 整流装置事故与故障:
  - 1) 整流装置故障;
  - 2) 整流装置熔断器熔断;
  - 3) 整流装置掉电;

- 4) 整流装置触点接触不良。

#### A.7 厂用系统事故与故障

- a) 高压厂用变压器内部故障：
  - 1) 高压厂用变压器内部故障；
  - 2) 高压厂用变压器过负荷；
  - 3) 高压厂用变压器低压侧相间短路；
  - 4) 高压厂用变压器速断保护拒动；
  - 5) 高压厂用变压器过流保护拒动；
  - 6) 高压厂用变压器冷却风扇电源故障；
  - 7) 高压厂用变压器开关拒动；
  - 8) 高压厂用变压器开关误跳。
- b) 厂用母线部分故障：
  - 1) 母线熔断器熔断；
  - 2) 母线备自投装置故障；
  - 3) 母线单相接地；
  - 4) 母线电压互感器一次侧断线；
  - 5) 母线仪表电流互感器二次侧断线。
- c) 400V 配电盘事故与故障：
  - 1) 照明配电盘事故与故障；
  - 2) 机组自用电配电盘事故与故障；
  - 3) 公用电配电盘事故与故障；
  - 4) 大坝配电盘事故与故障；
  - 5) 机旁配电盘事故与故障。

#### A.8 开关站事故与故障

开关站事故与故障包括：

- a) 母线故障：
  - 1) 母线单相接地；
  - 2) 母线相间短路；
  - 3) 母线失压；
  - 4) 绝缘子闪络；
  - 5) 电压互感器故障；
  - 6) 电流互感器故障。
- b) 线路故障：
  - 1) 单相接地；
  - 2) 两相接地；
  - 3) 相间短路；
  - 4) 线路断线；
  - 5) 电压互感器故障；
  - 6) 电流互感器故障。
- c) 配电装置故障：
  - 1) 断路器拒合、拒分；

- 2) 断路器非全相分、合闸;
  - 3) 断路器油泵故障;
  - 4) 断路器压力异常;
  - 5) 断路器误跳;
  - 6) 绝缘子闪络;
  - 7) 线夹发热;
  - 8) 隔离开关操作电动机故障。
- d) 电网故障:
- 1) 系统频率高、低;
  - 2) 系统电压高、低;
  - 3) 系统解列;
  - 4) 系统振荡;
  - 5) 系统故障引起断路器跳闸。

#### A.9 保护系统的事故与故障

保护系统的事故与故障包括:

- a) 机组长差、横差、定子接地保护动作;
- b) 机组机械保护动作启动机组快速停机;
- c) 机组负序过电流保护报警;
- d) 机组过负荷保护报警;
- e) 主变压器差动保护动作;
- f) 励磁变压器过电流保护动作;
- g) 高压厂用变压器差动保护动作;
- h) 厂用电母线发生单相接地故障;
- i) 保护误动、拒动;
- j) 失灵保护动作;
- k) 电流互感器、电压互感器断线;
- l) 保护装置失电;
- m) 保护光纤通道故障。

#### A.10 自动控制系统的事故与故障

自动控制系统的事故与故障包括:

- a) 监控系统断电事故;
- b) 监控系统工作站死机、失控;
- c) 测点数据值异常突变;
- d) 开机条件不满足;
- e) 机组开机过程中程序中断或延时报警;
- f) 监控系统网络故障。

#### A.11 静止变频器事故与故障

静止变频器事故与故障包括:

- a) 静止变频器控制器死机;
- b) 静止变频器控制器模块故障;

- c) 变频单元整流/逆变桥风扇故障;
- d) 变频单元整流/逆变桥空气温度高;
- e) 变频单元整流/逆变桥晶闸管故障;
- f) 变频单元整流/逆变桥电流差动;
- g) 变频单元整流/逆变桥故障;
- h) 变频单元整流/逆变桥过流;
- i) 变频单元整流桥低电压;
- j) 输入/输出变压器着火;
- k) 输入/输出变压器轻瓦斯保护动作;
- l) 输入/输出变压器重瓦斯保护动作;
- m) 输入/输出变压器油温高;
- n) 输入/输出变压器绕组温度高;
- o) 输入/输出变压器冷却水泄漏;
- p) 输入/输出变压器继电保护动作;
- q) 输入/输出变压器油位低;
- r) 滤波器故障;
- s) 冷却系统控制故障。

#### A.12 抽水蓄能机组开关、换相隔离开关事故与故障

抽水蓄能机组开关、换相隔离开关事故与故障包括:

- a) 换相隔离开关分/合闸操作失灵;
- b) 主变压器低压侧接地开关、机组断路器换相隔离开关侧接地开关分/合操作失灵;
- c) 启动母线隔离开关分/合闸操作失灵;
- d) 机组出口断路器 SF<sub>6</sub> 压力低, 开关无法分开;
- e) 机组断路器 SF<sub>6</sub> 密度低, 闭锁合闸或分闸;
- f) 机组出口断路器油压低, 闭锁合闸或分闸。

**附录 B**  
**(规范性附录)**  
**水电仿真机模型技术要求**

**B.1 模型基本要求**

模型的建立应以仿真对象的生产工艺流程、系统结构设计、设计计算和运行数据资料为依据，以实际物理过程为基础，符合质量守恒定律、能量守恒定律和动量守恒定律，符合水力学和电工学原理以及水电领域公认的经验公式。所建立的模型应尽量使仿真机的静态特性和动态特性与仿真对象相同。

模型软件包括用计算机高级语言或仿真语言编写的模块化模型程序库以及用结构化或图形化组态方式建立的软件模块，模型软件应能在正常、非正常工况下，对仿真对象实现实时连续的仿真，并能接受培训操作的激励，计算出用于监视、控制的数据。

**B.2 模型构成**

**B.2.1 水轮机/水泵水轮机及辅助设备模型**

水轮机/水泵水轮机及辅助设备模型包括：

- a) 引水系统的水力学模型；
- b) 水轮机水力学模型；
- c) 水泵工况水力学模型；
- d) 水轮机轴承的发热模型；
- e) 水泵工况轴承的发热模型；
- f) 技术供水、排水系统模型；
- g) 压缩空气系统模型；
- h) 机组制动系统模型；
- i) 机械保护系统模型。

**B.2.2 调速系统模型**

调速系统模型包括：

- a) 调速器模型；
- b) 油压装置系统模型。

**B.2.3 发电机/发电电动机及辅助设备模型**

发电机/发电电动机及辅助设备模型包括：

- a) 发电机电气模型；
- b) 电动机工况电气模型；
- c) 发电机、励磁系统及轴承的发热模型；
- d) 发电机励磁系统模型；
- e) 发电机冷却系统模型；
- f) 发电机同期装置模型；
- g) 发电机保护装置及自动控制装置模型。

#### B.2.4 静止变频器系统模型

#### B.2.5 公用系统模型

公用系统模型包括：

- a) 检修排水系统模型；
- b) 渗漏排水系统模型；
- c) 高压空气压缩机系统模型；
- d) 低压空气压缩机系统模型；
- e) 消火系统模型；
- f) 公用油系统供油、排油模型。

#### B.2.6 变压器及辅助设备模型

变压器及辅助设备模型包括：

- a) 变压器电气模型；
- b) 变压器发热模型；
- c) 变压器冷却系统模型；
- d) 变压器保护装置模型。

#### B.2.7 厂用系统模型

厂用系统模型包括：

- a) 厂用变压器模型；
- b) 母线备自投装置模型；
- c) 断路器模型；
- d) 电动机负荷模型。

#### B.2.8 直流系统模型

直流系统模型包括：

- a) 充电柜模型；
- b) 馈电柜模型；
- c) 蓄电池模型。

#### B.2.9 开关站模型

开关站模型包括：

- a) 电网模型；
- b) 母线模型；
- c) 线路模型；
- d) 继电保护装置及自动控制装置模型。

#### B.2.10 操作员站模型

操作员站模型包括：

- a) 主机系统自动化监控模型；
- b) 辅机系统自动化监控模型；
- c) 操作、监视、调整功能模型；



- d) 自动流程模型;
- e) 信息功能模型 (各种事故记录、实时趋势、历史趋势记录)。

### B.3 模型技术要求

#### B.3.1 电气模型技术要求

电气模型技术要求包括:

- a) 发电机/电动机、励磁系统模型应准确遵循转矩和功率方程、转子运行方程、空载特性、短路特性、负载特性、调节特性、电制动力矩特性等;
- b) 正确反映水轮发电机组冷却系统、变压器冷却系统有关参数变化对各测点温度的影响;
- c) 正确反映励磁系统的正常、非正常操作及仪表指示、灯光的变化;
- d) 正确反映励磁系统故障对发电机的影响;
- e) 正确反映发电机启动、升压、并网、负荷调整和正常、事故与故障及各种非正常运行工况下的参数变化;
- f) 正确反映电动机启动、正常运行、事故与故障及各种非正常运行工况下的参数变化;
- g) 正确反映水轮发电机-变压器组事故与故障的主要参数变化及现象;
- h) 正确计算开关站的正常、非正常运行工况下的主要参数变化及现象;
- i) 正确反映断路器、隔离开关的远方和就地操作;
- j) 正确反映断路器、隔离开关等设备本体、操作机构异常对操作的影响及现象;
- k) 正确反映厂用系统事故与故障的主要参数变化及现象;
- l) 正确反映直流系统的各种运行方式和直流接地绝缘监察装置的操作;
- m) 正确反映控制电源、合闸电源、信号电源的投切;
- n) 正确反映各保护、自动装置的投切,电压互感器、电流互感器故障对保护和自动装置的影响;
- o) 正确反映保护、自动装置的动作、拒动、误动,盘台设备的操作开关、连接片、灯光、按钮的操作及现象。

#### B.3.2 机械模型技术要求

机械模型技术要求包括:

- a) 正确反映各辅机系统及设备(油泵、水泵、空气压缩机)的运行特性;
- b) 正确反映水轮机的能量特性、转轮特性和调速特性;
- c) 正确反映水泵水轮机水泵工况下的运行特性;
- d) 根据水轮机运转综合特性曲线、飞逸特性曲线等,准确地反映水轮机在各种工况下的流量、出力、转速和效率特性;
- e) 正确反映开关主阀/球阀/快速闸门的正常操作、顺序控制流程;
- f) 正确反映水轮机/水泵水轮机的正常操作、顺序控制流程;
- g) 正确反映各种主要试验的现象;
- h) 正确反映水轮发电机组的轴承瓦温升高、轴承油槽油温升高、油槽液位变化、轴电流、油质变坏、振动、摆度、机组过速、断水、断油等事故与故障的现象。

#### B.3.3 操作员站模型技术要求

操作员站模型技术要求包括:

- a) 正确显示操作员站的所有画面;
- b) 正确反映操作员站的动态信息,包括所有动态操作、动态显示信息;
- c) 正确反映各种事故与故障记录、实时趋势、历史趋势记录。

**附 录 C**  
(规范性附录)  
水电仿真机开发资料要求

### C.1 基本要求

仿真机开发资料由以下三部分组成：

- a) 仿真对象系统资料；
- b) 仿真对象设备资料；
- c) 仿真对象运行及试验资料。

### C.2 仿真对象系统资料

仿真对象系统资料用于仿真机的仿真范围设计和仿真功能约定。主要包括：

- a) 电气主接线图；
- b) 厂用系统图；
- c) 直流系统图；
- d) 辅机系统图；
- e) 控制回路图；
- f) 自动流程图；
- g) 功能逻辑图。

### C.3 仿真对象设备资料

#### C.3.1 水轮机/水泵水轮机及辅助设备系统

用户应提供水轮机/水泵水轮机及辅助设备系统主要设备的规范、使用说明书，相关控制盘台的盘面图、设备参考手册。主要包括：

- a) 水轮机/水泵水轮机本体（含进出水闸门、引水管道、球阀等）；
- b) 技术供水、排水系统；
- c) 压缩空气系统；
- d) 机组制动系统；
- e) 机械保护系统。

#### C.3.2 调速系统

用户应提供调速系统主要设备的规范、使用说明书，相关控制盘台的盘面图、设备参考手册。主要包括：

- a) 调速器；
- b) 油压装置系统。

#### C.3.3 公用系统

用户应提供公用系统主要设备的规范、使用说明书，相关控制盘台的盘面图、设备参考手册。主要包括：

- a) 检修排水系统；
- b) 渗漏排水系统；
- c) 高压空气压缩机系统；

- d) 低压空气压缩机系统;
- e) 消防系统。

#### C.3.4 发电机/发电电动机及辅助设备系统

用户应提供发电机/发电电动机及辅助设备系统主要设备的规范、使用说明书,相关控制盘台的盘面图、设备参考手册。主要包括:

- a) 发电机/电动机本体;
- b) 发电机励磁系统;
- c) 发电机冷却系统;
- d) 发电机同期装置;
- e) 发电机保护装置及自动控制装置。

#### C.3.5 变压器及辅助设备系统

用户应提供变压器及辅助设备系统主要设备的规范、使用说明书,相关控制盘台的盘面图、设备参考手册。主要包括:

- a) 变压器本体;
- b) 变压器冷却系统;
- c) 变压器保护装置。

#### C.3.6 厂用系统

用户应提供厂用系统主要设备的规范、使用说明书,相关控制盘台的盘面图、设备参考手册。

#### C.3.7 直流系统

用户应提供直流系统主要设备的规范、使用说明书,相关控制盘台的盘面图、设备参考手册。

#### C.3.8 开关站

用户应提供开关站主要设备的规范、使用说明书,相关控制盘台的盘面图、设备参考手册。主要包括:

- a) 母线;
- b) 线路;
- c) 开关站继电保护装置及自动控制装置。

#### C.3.9 操作员站

用户应提供操作员站的全部画面资料和使用说明书。

### C.4 仿真对象运行及试验资料

仿真对象运行资料和试验资料用于验证仿真模型的准确性。主要包括:

- a) 水力发电厂/抽水蓄能电站运行规程;
- b) 水力发电厂/抽水蓄能电站运行记录、报表;
- c) 机组空载运行数据;
- d) 机组带 50%、75%、100%等负荷完整运行数据;
- e) 水力发电厂/抽水蓄能电站操作票;
- f) 水力发电厂/抽水蓄能电站检修后的主要试验记录。

**附录 D**  
(规范性附录)  
水电仿真机应用资料要求

**D.1 总体性资料**

- 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) 机组仿真系统图；
  - 2) 对象机组各组成部分的仿真范围、仿真程度和实现方案；
  - 3) 简化仿真依据和简化说明。
- d) 仿真机全部运行版软件的备份软件。

**D.2 硬件资料**

硬件资料应充分满足硬件维护人员维护、修改、查找硬件故障的需要。由于硬件配置方案存在较大差别，凡方案涉及下列资料内容的，应按以下要求提供：

- a) 计算机设备厂家随机资料：计算机外围设备厂家随机资料（如打印机、投影仪、UPS、交换机、音响等）。
- b) I/O 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) I/O 接口输入/输出清单。
- c) 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。

**D.3 软件资料**

软件资料应满足用户软件技术人员对仿真机进行软件维护和修改的需要。主要包括：

- 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) 各类基于计算机图形界面的操作员站使用维护说明书;
  - 2) 就地操作站用户手册;
  - 3) 虚拟盘台操作站用户手册;
  - 4) 硬件系统诊断软件使用说明书;
  - 5) 网络通信软件使用说明书。
- c) 仿真模型说明资料:
- 1) 模型维护手册;
  - 2) 事故与故障清单;
  - 3) 模型模块及其输出变量命名规范。

#### D.4 测试资料

测试资料主要包括:

- a) 仿真机测试大纲;
  - b) 仿真机测试报告。
-