



中华人民共和国电力行业标准

DL / T 1972 — 2019

水电厂培训仿真系统基本技术条件

Specification of operator training simulation system for hydropower plant

2019-06-04 发布

2019-10-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	1
5 仿真建模对象及测点	2
6 系统功能	2
7 软硬件配置要求	5
8 性能要求	6
9 包装、运输和存储	6
附录 A（资料性附录） 仿真测定数据一览表	7
附录 B（资料性附录） 培训仿真系统规模分类表	11

前 言

本标准按照 GB/T1.1—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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电站自动化标准化技术委员会（DL/TC 17）归口。

本标准起草单位：中国水利水电科学研究院、北京中水科水电科技发展有限公司、中国长江三峡集团有限公司、大唐彭水水电开发有限公司、国电南京自动化股份有限公司。

本标准主要起草人：王德宽、张巧惠、王桂平、张卫君、张煦、刘晓波、文正国、李亦凡、肖晓春、张显兵、徐军、唐博进、张茂林、李书明。

本标准为首次发布。

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）。

水电厂培训仿真系统基本技术条件

1 范围

本标准规定了水电厂运行维护培训仿真系统基本要求、软件功能要求、硬件配置要求及系统性能要求。

本标准适用于水电厂数字仿真培训系统的设计、制造和维护。

2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本文件。

DL/T 578 水电厂计算机监控系统基本技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

培训仿真系统 operator training simulation system

利用计算机仿真技术模拟真实的工作场景，对培训对象的运行维护技能进行培训的系统。

3.2

仿真引擎 simulation engine

在仿真系统中负责时间推进、调度运行、仿真控制、数据存储，并为仿真运行过程中的态势显示提供交互的仿真运控软件。

3.3

一机多模 one simulator with multi-models

在一套培训仿真系统上，同时运行多套仿真对象模型，每套模型可为多个培训对象提供独立的仿真场景。

4 基本要求

4.1 运行环境要求如下：

- a) 海拔：不大于 2000m。
- b) 温度：18℃～25℃。
- c) 湿度：45%～65%。

4.2 应能根据水电厂设备运行原理、结构原理和试验原理模拟其运行、维护和试验等生产过程。

4.3 应具备一机多模、分组培训功能。

4.4 应具有培训档案管理、在线教学、自学、考核鉴定、技能竞赛功能。

4.5 应具有监控仿真人机界面，且与仿真电站监控系统一致。

4.6 应具有仿真反演功能。

4.7 应提供用户集成、维护工具软件。

4.8 应有培训过程及结果记录、打印、管理功能。

4.9 人机界面应友好、操作方便、简洁、灵活。

4.10 系统应具有开放性和可扩展性。

5 仿真建模对象及测点

水电厂仿真建模对象应包括以下内容：

- a) 水轮机及辅助设备。
- b) 调速器及油压装置。
- c) 发电机及辅助设备。
- d) 励磁系统。
- e) 主变压器及其附属设备。
- f) 计算机监控系统。
- g) 厂用电设备系统。
- h) 直流设备系统。
- i) 继电保护及安全自动装置。
- j) 公用设备系统。
- k) 开关站设备系统。
- l) 机组技术供水、顶盖排水系统。
- m) 泄洪系统。
- n) 输水系统。
- o) 在线监测系统。
- p) 水库。

仿真测点数据可参见附录 A。

6 系统功能

6.1 培训

6.1.1 技能培训

按照水电厂运行维护人员等级鉴定要求，应具有分级培训功能。宜包含以下内容：

- a) 理论知识学习。
- b) 运行监视及设备巡检。
- c) 运行操作仿真培训：
 - 机组正常起停及并网、解列操作；
 - 机组负荷调整；
 - AGC/AVC 投、切操作；
 - 机组调速系统正常运行和操作；
 - 发电机励磁系统正常运行和操作；
 - 发电机及其辅助设备的正常运行和操作；
 - 水轮机及其辅助设备的正常运行与操作；
 - 主变压器及其辅助设备的正常运行和操作；
 - 开关站（GIS）的正常运行和倒闸操作；
 - 同期装置投、切操作；
 - 油、气、水系统主要设备的投、切操作；
 - 油压装置系统的正常运行和操作；

- 机组制动系统的正常运行和操作；
 - 保护装置的正常投入和退出；
 - 厂用电设备的正常运行和操作；
 - 直流系统的正常运行和操作；
 - 闸门系统的正常运行和操作；
 - 其他设备的运行倒闸操作。
- d) 故障及事故仿真培训：
- 开关站（GIS）事故、故障模拟及处理操作；
 - 水轮发电机组事故、故障模拟及处理操作；
 - 变压器事故、故障模拟及处理操作；
 - 保护系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 机组励磁系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 机组调速器系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 油压装置系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 自动控制系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 机组辅助设备（油、水、气）系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 引水系统、技术供水系统及排水系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 主阀（机组进水口快速闸门、筒阀）系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 厂用电系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 直流电系统事故、故障模拟及处理操作；
 - 水淹厂房事故模拟及处理操作等。
- e) 试验仿真培训：
- 调速系统静特性试验；
 - 空转试验；
 - 空载试验；
 - 有功调节试验；
 - 甩负荷试验；
 - 同期试验；
 - 励磁系统小电流试验；
 - 零启升压试验；
 - 电压扰动试验；
 - 无功调节试验；
 - 灭磁试验；
 - 保护系统校验试验等。

6.1.2 培训考核评价管理

- a) 学员管理。系统应具有学员注册、学员信息管理功能，学习内容、操作过程、考试成绩等应记录并可查询。
- b) 试题库管理。试题库应包括理论考试题和实操考核题。试题库应具有便捷的试题生成、修改和维护管理功能。试题类型可包括选择题、判断题、简答题、计算题、论述题等理论题和实操技能考试题。试题编辑应具备难易等级设置、按试题步骤设置分值功能。理论知识考试题库应涵盖水电基础知识和电厂各专业知识，操作考试题库应涵盖正常操作、事故故障处理操作和应急演练操作。

- c) 试卷管理。根据教员设置试卷的题型、题量、分值等，系统应具备自动与手动生成试卷功能。试卷应可修改、输出和打印。
- d) 学员上机考试。仿真系统应具有学员上机考试功能，考试可分为理论考试和实操技能考试。
- e) 教员监视。教员应能给学员下发任务、设置故障并监视所有学员在仿真系统上的操作。
- f) 试卷评分。应提供人工和自动两种评分方式，自动评分应根据制定的评分策略智能评分。学员考试、考核的答题内容、操作步骤、试题完成情况等应自动记录存档，以文本、表格、视频等形式输出，应具有查询功能。
- g) 技能考核鉴定。应能按照水电厂技能考核鉴定等级要求，提供不同等级考核试题，并具有技能水平评判功能。
- h) 技术比武竞赛。应具有分组比武功能，组内信息应同步，组间信息应隔离。
- i) 远程仿真培训。应能满足远距离、异地培训的要求。

6.2 监控系统仿真

应具有模拟水电厂监控系统监视与控制功能。具体要求如下：

- a) 数据库内容应与仿真对象一致。
- b) 画面外观、操作方法、监视及控制流程与仿真对象一致。
- c) 应具有监视报警、控制操作、记录及查询等功能。
- d) 应具备模拟操作演示功能，可步进模拟和完整模拟，供学员学习时选择使用。
- e) 应有机组流程控制及设备逻辑控制功能。
- f) 应有 AGC/AVC 仿真功能。AGC/AVC 仿真应根据电站的运行方式，自动进行机组负荷优化分配，机组启、停控制，机组有功、无功功率自动调节。
- g) 应能与实时监控系统通信，采集监控系统实时数据作为仿真初始数据。

6.3 三维场景模拟

6.3.1 应建立水电厂三维数字模型，模拟内容应包括水电厂建筑、设施、设备所具有的外观、结构、动态特征等。

6.3.2 三维场景模型数据格式。三维场景模型宜支持 3DS、OBJ、FBX、IVE 等数据格式。

6.3.3 场景模拟。

- a) 电厂场景巡视；
- b) 设备运行维护场景模拟；
- c) 设备试验场景模拟；
- d) 事故、故障场景模拟；
- e) 应急操作演练场景模拟；
- f) 工器具使用场景模拟。

6.3.4 其他。可支持地理信息系统（GIS）、虚拟现实（VR）等功能。

6.4 图形可视化建模工具

系统应具有图形可视化建模功能，用以实现模型设计、开发、调试、修改、扩充。

- a) 应支持仿真程序模块组态建模；
- b) 应支持图形自动建模；
- c) 应支持多人协同开发；
- d) 应支持在线进行数据动态修改和调试；
- e) 应支持新建或编辑模型，形成仿真对象模型库。

6.5 数据仿真引擎

数据仿真引擎应具有如下功能：

- a) 模型算法运算；
- b) 运算速度的控制和选择；
- c) 变量监视；
- d) 启动 / 停止；
- e) 运行 / 冻结；
- f) 初始工况选择；
- g) 工况保存；
- h) 暂停/回退功能。

7 软硬件配置要求

7.1 系统分类

可按仿真系统总测点数或学员站数，将其分为大、中、小型，具体分类参考附录 B 培训仿真系统规模分类表。

7.2 硬件配置原则

系统应配置数据服务器、仿真服务器、教员站、学员站、工程师站、交换机、打印机、投影或大屏展示系统设备。宜配置虚拟现实仿真设备及其相应的图形工作站。

每台学员站宜配置 2 台或 3 台显示器。

硬件可根据系统规模大小进行配置，详见表 1。

表1 系统硬件配置表

设备名称	大型	中型	小型
数据服务器	●	●	●
仿真服务器	●	○	○
教员站	●	●	○
学员站	●	●	●
工程师站	●	○	○
交换机	●	●	●
打印机	○	○	○
投影或大屏幕	○	○	○
虚拟现实仿真设备	○	○	○
注：表中●表示必选，○表示可选。			

7.3 软件配置原则

系统应配置操作系统、历史数据库、实时数据库、教员功能软件、学员功能软件、监控仿真、图形可视化建模工具、数据仿真引擎、考试系统，宜配置三维场景模拟软件，可配置三维建模工具软件。

软件可根据教员站、学员站等角色进行配置，详见表 2。

表 2 按角色分类的功能配置表

软件	数据服务器	仿真服务器	教员站	学员站	工程师站
操作系统	●	●	●	●	●
历史数据库	●	×	×	×	×
实时数据库	×	●	●	●	●
教员功能软件	×	×	●	×	●
学员功能软件	×	×	×	●	×
监控仿真	×	×	●	●	×
考试系统	×	×	●	●	●
图像可视化建模工具	×	×	×	×	●
仿真模型引擎	×	●	●	●	●
三维场景模拟	×	×	●	●	×
三维建模工具	×	×	×	×	○
注：表中●表示必选，○表示可选，×表示不选。					

8 性能要求

- a) 各计算机满负荷运行时 CPU 使用率不超过 70%，内存使用率不超过 85%；
- b) 数据服务器存储容量大于等于 2TB；
- c) 交换机传输速率大于等于 100Mbit/s；
- d) 三维模型加载时间不大于 30s、画面刷新帧频率不低于每秒 20 帧。

9 包装、运输和存储

应符合 DL/T 578 的规定。

附 录 A
(资料性附录)
仿真测定数据一览表

仿真测定数据一览表见表 A.1。

表 A.1 仿真测定数据一览表

序号	仿真对象	主要测点数据
1	水轮机及辅助设备	
a)	压力钢管	流速、流量、压力
b)	蜗壳	压力
c)	进水阀(筒阀/球阀/蝶阀)	开度、开关位置
d)	进水阀(筒阀/球阀/蝶阀)控制柜	开度、开关位置、油压、油位、远方信号、自动信号、远方现地控制
e)	导叶	开度
f)	水轮机	转速、效率、进/出口流量、机械损耗、机械功率、桨叶转角
g)	尾水管	压力、流量
h)	水轮机顶盖	水位
i)	发电机上导轴承、发电机下导轴承、水轮机导轴承、推力轴承	轴瓦温度、油槽油位、油温
j)	剪断销	剪断信号
k)	导叶接力器	位移、锁定投入/退出
l)	水轮机导轴承及油盆	油位、油温、轴承温度
m)	主轴密封	压力、流量
2	调速器及油压装置	
a)	调速器电气柜	远方现地、手动自动、导叶控制、导叶开度、机组转速
b)	调速器机械柜	手动自动、油泵的控制及状态、接力器的控制及状态、补气阀的控制及状态、紧急停机
c)	压油罐	油压、液位
d)	回油箱	油压、液位
e)	油泵	启停、事故跳闸信号、启动电流、电机温度、运行时间
f)	动力柜	进线电源控制及指示、负荷开关的控制及指示
g)	油管路	压力
h)	保护	主配压阀拒动、机械过速出口
i)	控制	导叶控制、油泵控制、锁锭控制、阀门控制、补气控制、PID 调节水轮机转速及功率
j)	测量	导叶开度、转速、油压、油位
k)	信号	电源信号、油泵启停、锁锭投退、自动补气
3	发电机及辅助设备	

表 A.1 (续)

序号	仿真对象	主要测点数据
a)	发电机定子、转子、滑环室	产热量、散热量、后温度
b)	发电机出口断路器组合电器	发电机出口断路器、隔离开关及接地开关控制（远方现地自动保护动作及气压、SF ₆ 压力闭锁、电气闭锁）、远方、现地、机械指示、节点电压、带电状态、弹簧储能 OK
c)	母线	节点电压
d)	电压/电流互感器	相电压电流、线电压电流、故障跳闸出口、频率
e)	中性点	现地控制、指示
f)	发电机测温系统	测量发电机上导轴承、发电机下导轴承、推力轴承、水轮机导轴承、绕组、铁芯温度
g)	发电机上导轴承、发电机下导轴承、推力油槽以及发电机冷却系统	发电机上导轴承、发电机下导轴承、推力油槽液位温度 发电机冷却系统计算热交互后的油温
h)	机械制动系统	自动手动控制、气源、上腔、下腔气压
i)	顶转子装置	油泵手动控制、压力
j)	保护装置	故障信号点、判断跳闸信号、功能压板、出口连接片、跳闸机构
k)	机坑加热、除尘、碳粉吸收等	各设备的控制、运行停止指示
4	励磁系统	
a)	励磁变压器	励磁电压、励磁变压器温度
b)	励磁调节器	晶闸管导通/控制角、励磁电流、手动自动同期调节、电气制动功率
c)	晶闸管整流柜	通道切换、手动自动、远方现地、手动增减磁、起励
d)	启励装置	启励电源、自动手动启励、自动退出启励电源
e)	磁场断路器	磁场断路器开关控制、分合
5	主变压器及其附属设备	
a)	主变压器本体设备	高压侧、低压侧电压电流有功无功
b)	主变压器冷却系统	进线电源切换、手动自动切换、手动自动启停、自动轮换、带电指示、冷却器运行停止指示、主变压器温度
c)	消防系统	主变压器消防喷淋控制
d)	封闭母线	节点电压
e)	电压互感器、电流互感器、避雷器	相电压电流、线电压电流、跳闸出口
f)	保护装置	故障信号点、判断跳闸信号、功能压板、出口连接片、跳闸机构
6	计算机监控系统	
a)	监控系统操作员站	远方设备控制、监控系统信号的监视、光字牌、实时报警信息
b)	现地控制单元现地盘柜	可编程序控制器运行、开机、停机、紧急停机、事故停机、远方现地切换
c)	同期装置	频差压差相位的自动调节手动调节、同期模式切换、出口断路器分合

表 A.1 (续)

序号	仿真对象	主要测点数据
7	厂用电设备系统	
a)	高压厂用变压器	温度、风机冷却
b)	10kV 配电柜	断路器远方现地电气机械控制、小车工作实验检修位闭锁、电气闭锁、储能 OK、接地开关控制、保护跳闸、信号连接片、开关后电压
c)	母线	节点电压
d)	电压互感器、电流互感器	相电压电流、线电压电流、故障跳闸出口
e)	备用电线自动投入装备	投入退出, 检测高压侧带电自动分合开关
f)	400V 开关	远方现地电气机械控制、开关检修工作位闭锁、储能 OK、电气闭锁、开关后电压、带电状态
g)	400V 负荷柜	各负荷开关控制及指示、工作检修位闭锁
h)	柴油发电机	柴油机启停控制、油位、运行停止、输出电压、启动电流
8	直流设备系统	
a)	蓄电池组	充放电电压
b)	充电柜	充电模块自动充电、电池巡检仪监测蓄电池电压、稳压装置稳定输出电压
c)	直流馈电盘	负荷开关控制及指示
d)	交流进线柜	进线开关控制及指示、开关后电压
e)	联络柜	I 段和 II 段电压电流、联络开关控制及指示、绝缘监测测量绝缘电阻值
f)	放电柜	放电电阻
g)	不间断电源系统柜	负荷开关指示灯、电压表、电流表
9	继电保护及安全自动装置	
a)	发电机保护	故障信号点、跳闸信号、功能压板、出口压板、跳闸机构
b)	主变压器保护	故障信号点、跳闸信号、功能压板、出口压板、跳闸机构
c)	线路保护	故障信号点、跳闸信号、功能压板、出口压板、跳闸机构
d)	安全自动装置	投入/退出
10	公用设备系统	
a)	中/低压气系统	中/低压气机手自动启停、气压、气机启动电流、运行时间、事故跳闸出口
b)	检修/渗漏排水系统	检修/渗漏泵手自动启停、水位、排水泵启动电流、运行时间、事故跳闸出口
c)	透平油、绝缘油系统	油罐油位、充油排油
d)	厂房消防系统	
11	开关站设备系统	
a)	开关设备	断路器、隔离开关、接地开关远方现地控制、电气机械指示、光字牌、气压、SF ₆ 压力、机械闭锁电气闭锁、节点电压
b)	母线	节点电压

表 A.1 (续)

序号	仿真对象	主要测点数据
c)	电压互感器/电流互感器	相电压电流、线电压电流、事故跳闸出口
12	机组技术供水、顶盖排水系统	
a)	供/排水管路	压力、流量
b)	各类型阀门	控制方式、开度、全开全关位置、阀后压力流量
c)	测量表计	流量、压力、温度、差压、液位
d)	顶盖排水泵以及控制柜	泵手动自动控制、运行指示、水位监视、泵启停、泵启动电流、运行时间、电机温度、事故跳闸出口
e)	动力柜上的各种空气开关	控制及指示
f)	切换把手、表计、指示灯、按钮	切换把手按钮下令、表计数值显示、指示灯状态指示
13	泄洪系统	
a)	液压启闭系统	电磁阀位、油流向、液压杆位移
b)	油管路	压力、流量
c)	阀门	控制方式、开度、全开全关位置、阀后压力流量
d)	控制柜	闸门控制、油泵控制、远方现地、手动自动、开度、闸门运行状态
14	输水系统	
a)	进水口闸门、检修门动力柜	I 段 II 段供电切换、油泵供电
b)	进水口闸门、检修门控制柜	闸门控制、油泵控制、远方现地、手动自动、开度、闸门运行状态
c)	进水口闸门、检修门回油箱	液位、压力
d)	进水口闸门、检修门阀组	控制方式、开度、全开全关位置、阀后压力流量
e)	拦污栅	液位、液位差
15	在线监测系统	
a)	机组在线监测	一级摆度报警/切机, X/Y 摆度
b)	主变压器油色谱、微气微水监测	水含量、乙炔等气体含量
16	水库	
a)	上下游水位	水头
b)	入库流量	入口流量
c)	出库流量 (下泄流量、生态流量)	出口流量

附 录 B
(资料性附录)
培训仿真系统规模分类表

培训仿真系统规模分类见表 B.1。

表 B.1 培训仿真系统规模分类表

类型	总测点数	学员站数
小型	≤8000	≤10
中型	>8000	>10
	≤20000	≤30
大型	>20000	>30
注：两条件满足任一条即可。		

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
水电厂培训仿真系统基本技术条件
DL/T 1972 — 2019

*

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>)
北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

*

2019 年 12 月第一版 2019 年 12 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1 印张 24 千字
印数 001—500 册

*

统一书号 155198 · 1712 定价 15.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

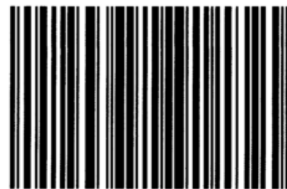


中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.1712