

ICS 27.140
CCS P 59

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2191—2020

水轮机调速器涉网性能仿真检测技术规范

Simulation test guidelines of water turbine governor
performance related to power grid

2020-10-23 发布

2021-02-01 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 性能检测	2
5 检测准备及要求	4
6 检测方法和技术要求	5
7 检测报告	9
附录 A（资料性） 控制模式及配置接口说明	10
附录 B（资料性） 检测报告内容	14

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电网运行与控制标准化技术委员会（SAC/TC 446）归口。

本文件起草单位：国家电力调度控制中心、中国电力科学研究院有限公司、中国南方电网电力调度控制中心、国网西南电力调控分中心、四川电力调度控制中心、国网陕西电力科学研究院、南瑞集团有限公司、国网四川省电力公司电力科学研究院、国网四川省电力工业调整试验所、云南省调度控制中心、国网福建省电力科学研究院、长江电力三峡水力发电厂、雅砻江流域水电开发有限公司、国电大渡河流域水电开发有限公司、长江三峡能事达电气股份有限公司。

本文件主要起草人：王超、夏潮、于大海、于钊、孙剑锋、张建新、张剑云、贺静波、肖洋、陶向宇、王官宏、余锐、霍承祥、王彪、李华、李志强、蔡卫江、高磊、张杰、余志强、陈刚、黄兴、马晓光、张祖新、万天虎、徐振华、魏巍、蒲华东、葛嘉、杨超、周成、艾东平、马世俊、张友江、张艳、李贺文、刘凯。

本文件为首次发布。

本文件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）。

水轮机调速器涉网性能仿真检测技术规范

1 范围

本文件规定了采用实时数字仿真系统对水轮机调速器的电气控制系统进行涉网性能检测的内容、方法和技术要求。

本文件适用于单机容量在 10 MW 及以上的并网运行水轮机电液式调速系统，10 MW 以下容量的机组可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 9652.1 水轮机调速系统技术条件
- GB/T 9652.2 水轮机调速系统试验
- GB/T 28566 发电机组并网安全条件及评价
- GB/T 31464 电网运行准则
- DL/T 496 水轮机电液调节系统及装置调整试验导则
- DL/T 563 水轮机电液调节系统及装置技术规程
- DL/T 792 水轮机调节系统及装置运行与检修规程
- DL/T 1120 水轮机调节系统测试与实时仿真装置技术规程
- DL/T 1235 同步发电机原动机及其调节系统参数实测与建模导则
- DL/T 1245—2013 水轮机调节系统并网运行技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

功率模式 **power control mode**

机组并网运行中，调节系统接收功率指令信号，并使功率跟踪于功率指令信号的控制模式。

3.2

开度模式 **opening control mode**

机组并网运行中，调节系统接收开度指令信号，并使开度跟踪于开度指令信号的控制模式。

3.3

数学模型 **mathematical model**

系统的数学描述。常用形式有微分方程、状态方程和传递函数（3.4）等。

[来源：DL/T 1245—2013，3.12]

3.4

传递函数 **transfer function**

系统在复域内的数学模型（3.3）。当初始条件为零时，可由下述微分方程经拉普拉斯变换得出，即

$$G(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} = \frac{B(s)}{A(s)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

s ——拉普拉斯算子。

[来源：DL/T 1245—2013，3.14]

3.5

一次调频 **primary frequency control; PFC**

水轮机调节系统的基本功能，在机组发电运行过程中，当系统频率变化超过调速器的频率/转速死区时，水轮机调节系统将根据频率静态特性(调差特性)所固有的能力，按整定的调差率/永态转差系数自行改变导叶开度(或轮叶转角或喷针/折向器开度)，从而引起机组有功的变化，进而影响电网频率的调节过程。

[来源：DL/T 1245—2013，3.17，有修改]

3.6

自动发电控制 **automation generator control; AGC**

电网调度中心通过水电厂计算机监控系统作用于水轮机调节系统，从而控制机组开/停机、自动增/减目标有功功率指令，进而改变水电厂或机组的有功功率来满足电力系统的需要。水电厂自动发电控制是电力系统自动发电控制的一个子系统。

[来源：DL/T 1245—2013，3.18，有修改]

3.7

自动控制模式 **automatic control mode**

以频率、开度或功率作为反馈信号的闭环 PID 控制方式。

3.8

监控功率闭环 **power closed-loop of supervisory control**

通过监控系统更改机组发电功率给定值，实现控制机组输出功率。

3.9

协联关系 **combination relation**

水头与导叶、轮叶转角(或折向器、喷针)之间的关系。在不同水头下，导叶开度与轮叶转角的组合或折向器与喷针之间的组合，使水轮机效率达到最优。

4 性能检测

4.1 检测原理

根据需建立包括引水系统、监控系统、执行机构、水轮机、发电机、励磁系统、主变压器、主开关及等值无穷大系统等的实时数字仿真环境，向待检测调速器控制柜提供导叶反馈、频率反馈、功率反馈等所需要的电气量，待检测调速器控制柜则将开度指令的模拟量信号 PIDOUT(调速器控制总输出)送入实时数字仿真系统，从而构成闭环试验环境。仿真检测系统原理如图 1 所示。

4.2 检测内容

4.2.1 基础功能检测试验项目

基础功能检测试验项目见表 1。

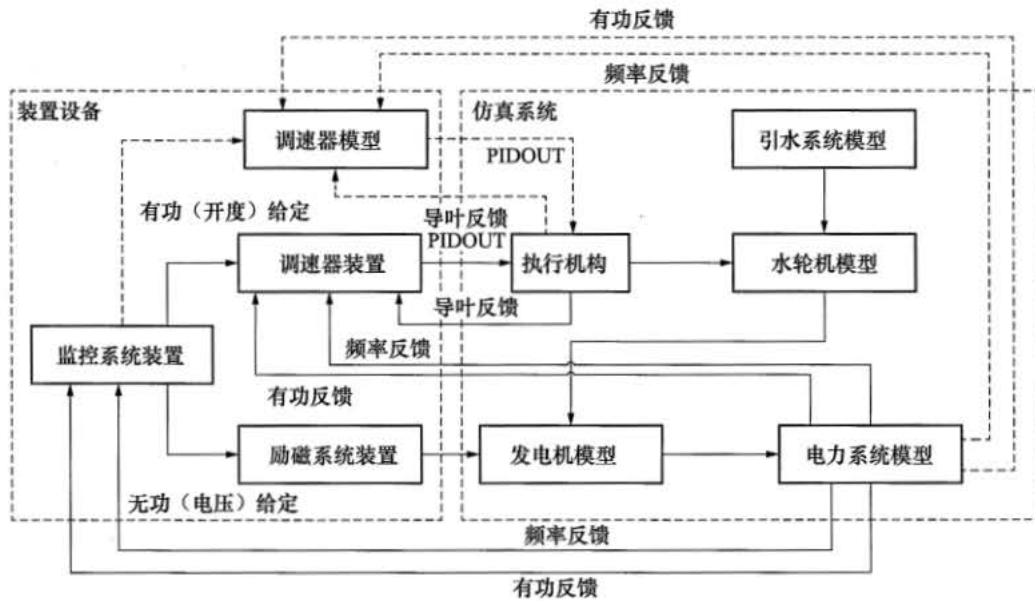


图1 仿真检测系统原理示意图

表1 基础功能检测试验项目

序号	试验项目	说明
1	输入/输出开关量与模拟量校验	a) 输入/输出开关量信号：开机、停机、增有功（频率）、减有功（频率）、断路器位置、一次调频投入、一次调频动作、手/自动状态、电网运行模式、调速器运行模式等信号。 b) 输入/输出模拟信号：频率、频差、功率给定、功率、开度给定、开度反馈、水头设定值、工作水头(模拟量输入)、PIDOUT等。 c) 调速器提供的与其他系统的数字或模拟接口等（具体接口见附录A）
2	功率变送器性能测试	功率变送器稳定指标测试、动态指标测试
3	基本功能测试	主要包括一次调频动作及复归、监控功率闭环调节（监控指令响应、远方及现地增减负荷试验）、功率闭环控制（远方及现地增减负荷试验）、开度限制、频率给定限制、功率限制、频率死区校核、主备用切换、协联关系等功能、功率/开度死区校核测试、频率采集精度
4	操作回路动作试验	主要包括自动开机、手自动切换、增减负荷、自动停机和事故模拟等试验
5	转速指令信号、开度指令信号、功率指令信号校验	在仿真检测系统下校验转速指令信号、开度指令信号、功率指令信号
6	b_t （暂态转差系数）、 T_d （缓冲时间常数）、 T_n （加速度时间常数）或 K_p （比例增益系数）、 K_i （积分增益系数）、 K_D （微分增益系数）、 T_v （微分衰减时间常数）和 b_p （永态转差系数）、 e_p （水轮机调节系统调差率）校验	在仿真检测系统下校验 b_t 、 T_d 、 T_n 或 K_p 、 K_i 、 K_D 、 T_v 和 b_p 、 e_p
7	故障模拟和控制模式切换试验	a) 模拟调速装置输入信号、水头信号、功率信号、接力器位置信号消失故障和工作电源故障等。 b) 控制模式：频率控制、功率控制、开度控制等。 c) 功率反馈变送器出现采样消失、越限或两路偏差过大，调速器应切换至开度模式并输出告警及状态信息等

表 1 (续)

序号	试验项目	说明
8	信号冗余测试	主要包括水轮机调速器的水头信号、频率转速、功率、开度等重要控制信号，在参与设备或机组保护时宜采用独立测量的三取二的逻辑判断方式，在用于模拟量控制时宜采用三取中值的方式进行优选等

4.2.2 涉网性能检测试验项目

涉网性能检测试验项目见表 2。

表 2 涉网性能检测试验项目

序号	试验项目	说明
1	传递函数与被测装置一致性检测	检测制造商提供的传递函数与被测装置是否一致
2	开度/功率模式一次调频功能试验	在仿真检测系统下进行开度/功率模式的一次调频试验，校验一次调频功能
3	一次调频与 AGC 协调性试验	在仿真检测系统下进行一次调频与 AGC 协调性试验，校验一次调频与 AGC 的协调逻辑
4	负荷调节试验	在仿真检测系统下进行负荷调节试验，校验负荷调节逻辑
5	并网模型间无扰切换试验	a) 自动控制模式下，开度与功率模式的切换。 b) 大网、小网、孤网间相互切换。 c) 自动控制模式与电气手动等模式之间的相互切换。 d) 机组在稳定过程与非稳定过程进行上述操作
6	机组甩负荷试验	在仿真检测系统下进行机组甩负荷试验，校验机组甩负荷逻辑及功能
7	孤网（孤岛）模式运行试验	在仿真检测系统下进行孤网（孤岛）试验，校验机组孤网（孤岛）逻辑
8	电网故障的调速器性能检测	模拟电网 N-1 故障、发电机出口短路、线路故障等

5 检测准备及要求

5.1 调速器制造商

5.1.1 调速器制造商应提供下列技术资料：

- 调速器系统包括附加功能环节在内的数学模型及推荐参数；
- 水头与导叶（桨叶）、导叶与桨叶的协联关系及参数设置清单；
- 执行机构数学模型及推荐参数，执行机构模型特性可真实反映实际物理装置特性；
- 调速器系统内部参数换算关系的计算说明等；
- 使用说明书，包含原理、特性、控制逻辑、安装、试验、整定、运行、维护、故障查找等；
- 出厂试验报告、产品合格书及电气液压调速器设备软件版本号。

5.1.2 制造商应提供下列测试接口：

- 用数模转换器提供调速器装置内控制量输出，且信号时间延时满足试验要求；
- 提供模拟信号输入接口，模拟电网频率；
- 提供与引水系统、监控系统、执行机构、实时数字电力仿真系统（电力仿真系统）的数字或模拟接口。

5.1.3 调速器测试接口应符合下列要求：

- 调速器测试量输出应为模拟量或开关量信号。

- b) 调速器输出信号扫描周期不应大于 50 Hz。
- c) 调速器与其他系统接口应具备数字与模拟接口。
- d) 调速器输入频率接口应为模拟量电压信号。频率测量分辨率应小于 0.003 Hz；信号电压有效值不小于 0.5 V。

5.1.4 制造商应符合 GB/T 9652.1、DL/T 496、DL/T 563、DL/T 792、DL/T 1120、DL/T 1235、DL/T 1245—2013 的规定。

5.1.5 制造商应配合检测单位整改检测中发现的问题。

5.2 检测单位

5.2.1 仿真系统的数据整理

涉网性能检测试验应检测调速器系统性能，检测单位应根据相关资料整理下列数据：

- a) 引水系统参数、监控系统参数、水轮机参数、发电机参数；
- b) 执行机构模型及参数。

5.2.2 建立仿真系统模型

建立仿真系统闭环测试环境，系统应符合下列要求：

- a) 应具备常用引水模型与参数及自定义引水模型与参数；
- b) 监控系统宜为实际控制系统，系统应具备开/停机、调节负荷、AGC 等功能；
- c) 应具备常用水轮机模型及自定义水轮机模型；
- d) 应具备常用执行机构模型及自定义执行机构模型；
- e) 发电机应采用六阶数学模型；
- f) 励磁系统宜为实际控制系统，系统应具备手动增减磁功能、PSS（电力系统稳定器）控制、AVC（自动电压控制）等功能；
- g) 应具备等值无穷大的电力系统仿真环境；
- h) 电力系统仿真环境应具备实现各种电网及机组故障工况。

5.2.3 仿真系统的试验接线

调速器电气控制系统接入实时数字仿真系统的试验原理接线可见 4.1 的检测原理，且应符合下列要求：

- a) 接受调速器电气控制系统的接口应考虑一定的电压量程裕度，避免对仿真系统中模数转换部件造成损坏；
- b) 调速器测点根据制造商提供的传递函数制定。

5.2.4 试验检测录波器性能

试验检测录波器性能应符合下列要求：

- a) 系统除包括仿真系统和实际装置外，还应有独立的录波器监视并记录试验过程。
- b) 试验检测录波器频率不应小于 1 kHz/s；模拟测量和计算精度不应低于 0.5 级。
- c) 信号源的频率分辨率不应大于 0.001 Hz。

6 检测方法和技术要求

6.1 基础功能检测

6.1.1 水轮机调速器输入/输出开关量与模拟量校验

6.1.1.1 水轮机调速器输入/输出开关量与模拟量校验应符合下列要求：

- a) 开关量信号应动作正确;
- b) 模拟量采集延时时间不应大于 40 ms;
- c) 测量单元测量误差不应超过 $\pm 0.1\%$ 。

6.1.1.2 检测方法应符合下列要求:

- a) 改变触发开关量条件, 检测开关量信号输出;
- b) 应采用高精度信号发生器, 改变模拟量输入;
- c) 应使用录波器记录模拟量输出。

6.1.2 功率变送器性能测试

6.1.2.1 功率变送器性能测试应符合下列要求:

- a) 功率变送器应准确测量动态过程中机组的功率变化;
- b) 功率变送器相对误差不应大于 0.5%。

6.1.2.2 检测方法应符合下列要求:

- a) 在仿真检测系统输出典型电网短路故障时的电压、电流波形, 对比功率变送器的功率测量值和真实值, 比较响应时间及波动过程中最大值、最小值与仿真曲线的误差值;
- b) 在仿真检测系统输出典型机组调频过程时的电压、电流波形, 对比功率变送器的功率测量值和真实值, 比较响应时间及波动过程中最大值、最小值与仿真曲线的误差值;
- c) 应使用录波器记录试验过程。

6.1.3 基本功能测试

6.1.3.1 基本功能测试应符合下列要求:

- a) 基本功能特性应与制造商说明书一致;
- b) 存在耦合关系功能应在有扰时, 实现功能无扰切换, 且工作特性正常;
- c) 应满足 GB/T 9652.1 与 GB/T 28566 的要求。

6.1.3.2 检测方法: 应符合 GB/T 9652.2 规定的试验方法。

6.1.4 操作回路动作试验

6.1.4.1 操作回路动作试验应符合下列要求:

- a) 调速器自动开机、手自动切换、增减负荷、自动停机动作逻辑正确;
- b) 仿真检测系统事故模拟, 调速器动作逻辑正确。

6.1.4.2 检测方法应符合下列要求:

- a) 在仿真检测系统进行机组的自动开机、手自动切换、增减负荷、自动停机操作;
- b) 在仿真检测系统进行事故模拟;
- c) 应使用录波器记录调速器 PIDOUT、开度给定、导叶反馈、机组功率等信号。

6.1.5 转速指令信号、开度指令信号、功率指令信号校验

6.1.5.1 转速指令信号、开度指令信号、功率指令信号校验应符合下列要求:

- a) 转速指令信号、开度指令信号、功率指令信号定义正确;
- b) 转速指令信号、开度指令信号、功率指令信号指令偏差不大于 0.1%。

6.1.5.2 检测方法应符合下列要求:

- a) 采用模拟量输入;
- b) 用录波器记录指令输出结果, 或强制各种指令信号;
- c) 用录波器记录指令输出结果。

6.1.6 b_t 、 T_d 、 T_n 、 K_P 、 K_I 、 K_D 、 T_v 、 b_p 、 e_p 校验

6.1.6.1 b_t 、 T_d 、 T_n 、 K_P 、 K_I 、 K_D 、 T_v 、 b_p 、 e_p 校验应符合下列要求：

- a) b_t 、 T_d 、 T_n 、 K_P 、 K_I 、 K_D 、 T_v 、 b_p 、 e_p 在任何情况下，设定参数与实测参数应一致；
- b) b_t 、 T_d 、 T_n 、 K_P 、 K_I 、 K_D 、 T_v 、 b_p 、 e_p 存在偏差系数时，偏差系数应为恒定值。

6.1.6.2 检测方法应符合下列要求：

- a) 采用模拟量作为 b_t 、 T_d 、 T_n 、 K_P 、 K_I 、 K_D 、 T_v 的输入；
- b) 使用录波器记录 b_t 、 T_d 、 T_n 、 K_P 、 K_I 、 K_D 、 T_v 的输出结果，校验参数；
- c) 设定 b_p 、 e_p 值，用模拟量模拟频率输入，使用录波器记录 PIDOUT，通过计算 PIDOUT 校验 b_p 、 e_p 参数。

6.1.7 故障模拟和控制模式切换试验

6.1.7.1 故障模拟和控制模式切换试验应符合下列要求：

- a) 故障报警及控制逻辑正确；
- b) 控制模式切换过程中导叶开度变化不超过±1%。

6.1.7.2 检测方法应符合下列要求：

- a) 在模拟并网状态下，模拟测速装置输入信号、水头信号、功率信号、接力器位置信号消失故障和工作电源故障等；
- b) 在频率控制、功率控制、开度控制、水位控制和流量控制等控制模式间切换；
- c) 在运行模式下，进行调速器系统 A、B 套切换；
- d) 在模拟并网状态下，模拟功率反馈变送器出现采样消失、越限或两路偏差过大，调速器应切换至开度模式并输出告警及状态信息等；
- e) 应使用录波器记录调速器 PIDOUT 反馈、机组功率等信号。

6.1.8 信号冗余测试

6.1.8.1 信号冗余测试应符合下列要求：

- a) 重要控制信号应采用三路测点，测点应分配在不同模件上；
- b) 信号参与设备或机组保护时应采用独立测量的三取二的逻辑判断方式，作用于模拟量控制时应采用三取中值优选方式；
- c) 出现单项或双项测点故障时，控制信号输出稳定，且输出误差为±1%。

6.1.8.2 检测方法应符合下列要求：

- a) 模拟控制信号单项测点故障、双项测点故障输入调速器设备；
- b) 使用录波器记录调速器故障过程中 PIDOUT 反馈、机组功率等信号。

6.2 涉网性能检测

6.2.1 传递函数与被测装置一致性检测

6.2.1.1 传递函数与被测装置一致性检测应符合下列要求：

- a) 制造商提供的传递函数及参数设置与被测装置一致；
- b) 制造商提供的被测参数误差不应超过±1%。

6.2.1.2 检测方法应符合下列要求：

- a) 根据调速器设备提供传递函数分环节测试；
- b) 模拟机组并网，采用模拟量模拟频率输入；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/717130164132006030>