



中华人民共和国国家标准

GB/T 40595—2021

并网电源一次调频技术规定及试验导则

Guide for technology and test on primary frequency control of
grid-connected power resource

2021-10-11 发布

2022-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	3
5 火电/燃气/燃油/光热发电机组一次调频技术规定	3
6 核电机组一次调频技术规定	4
7 水力发电机组一次调频技术规定	5
8 新能源场站一次调频技术规定	6
9 储能电站一次调频技术规定	6
10 火电/燃气/燃油/光热发电机组一次调频试验	7
11 核电机组一次调频试验	8
12 水力发电机组一次调频试验	8
13 新能源场站一次调频试验	9
14 储能电站一次调频试验	10
参考文献	11

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。

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专利的责任。

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：国家电网有限公司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、国网陕西省电力公司、国网冀北电力有限公司、国家电网公司华中分部、国家电网公司西南分部、国家电网公司西北分部、国家电网公司东北分部、国家电网公司华东分部、国网山东省电力公司、国网福建省电力有限公司、云南电网有限责任公司、中国水利水电科学研究院、西安热工研究院有限公司、中国核工业集团公司。

本文件主要起草人：张剑云、王官宏、李莹、贺静波、王超、陶向宇、于钊、郭强、陈国平、李文锋、许涛、党杰、孙华东、黄兴、冷喜武、陈亦平、叶俭、刘明松、张建明、李华、李琰、于大海、孙骁强、万天虎、何飞、余志强、余锐、谭贝斯、韩志勇、刘磊、刘鑫、程松、李胜男、苏毅、周成、高伏英、张辉、贾媛、王晖、杨振勇、赵志丹、崔达、夏德明、王斌、郭强、张慕婕、曾兵、王茂海、王聪、王克非、张博闻、马晓伟、杨水丽。

并网电源一次调频技术规定及试验导则

1 范围

本文件规定了并网电源一次调频性能及试验。

本文件适用于接入 35 kV 及以上电压等级电力系统的火电、水电、核电、燃气轮机发电、光热发电、抽水蓄能、风力发电、光伏发电及储能电站等并网电源,其他并网电源可参照执行。

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 31464 电网运行准则

GB 38755 电力系统安全稳定导则

GB/T 38969 电力系统技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

一次调频 primary frequency control; PFC

当电力系统频率偏离目标频率时,电源通过控制系统的自动反应,调整有功出力减少频率偏差的控制功能。

3.2

一次调频死区 dead band of primary frequency control; DB

一次调频功能不动作的转速或频率偏离额定值的范围。

3.3

转速不等率 steady-state speed regulation; speed governing droop

机组调速控制系统一次调频的静态特性曲线斜率。

3.4

额定有功功率 rated active power

核定机组能保持长期稳定运行的有功功率。

注:核定的额定有功功率应预留本文件规定的一次调频容量。

3.5

阶跃试验 step test

被控量的给定值阶跃变化的试验。

注:阶跃试验用于检验自动控制系统的动态性能。

3.6

新能源场站 renewable energy station

集中接入电力系统的风电场或光伏电站并网点以下所有设备。

注：包括变压器、母线、线路、变流器、储能、风电机组、光伏发电系统、无功调节设备及辅助设备。

[来源：GB 38755—2019,2.11]

3.7

复核试验 grid-related verification test

涉网试验完成时间达到规定年限后，为核对原涉网试验结论而开展的验证性试验。

[来源：GB/T 40594—2021,3.8]

3.8

阶跃量 step value

ΔP

阶跃试验中，被控量的最终稳态值与初始值之差。

3.9

超调量 overshoot value

M_p

阶跃试验中，被控量的最大值与最终稳态值的差值与阶跃量之比的百分数。

3.10

滞后时间 delay time

t_d

阶跃试验中，从阶跃量加入开始到被控量变化至 10%阶跃量所需时间。

[来源：DL/T 2194—2020,3.8]

3.11

上升时间 rise time

t_{up}

阶跃试验中，从阶跃量加入开始到被控量变化至 90%阶跃量所需时间。

[来源：DL/T 2194—2020,3.9]

3.12

调节时间 settling time

t_s

阶跃试验中，从起始时间开始，到被控量与最终稳态值之差的绝对值始终不超过 5%阶跃量的最短时间。

[来源：DL/T 2194—2020,3.10]

3.13

振荡次数 number of oscillation

阶跃试验中，被控量在调节时间内振荡的次数。

3.14

孤立电网 isolated grid

与外部电网没有电气联系，或与外部电网联络线断开后独立运行的小容量电网。

注：孤立电网简称“孤网”。

[来源：DL/T 2194—2020,3.14]

3.15

孤岛电网 island grid

仅通过直流系统与外部电网相连的小容量电网。

[来源:DL/T 2194—2020,3.15]

4 总体要求

4.1 并网电源应符合 GB/T 31464、GB 38755、GB/T 38969 相关规定,配置一次调频功能,设计一次调频逻辑,整定一次调频运行参数,实测一次调频性能,相关性能应满足本文件规定。

4.2 并网电源一次调频功能应自动投入,在核定的出力范围内应响应系统频率变化,且满足本文件规定的一次调频性能。

4.3 并网电源其他功率或频率控制系统[如自动发电控制(AGC)、有功功率闭环调节等]应与一次调频相协调,不应限制一次调频功能。

4.4 并网电源应设置运行最大功率限幅功能,防止一次调频动作后超过允许的最大功率运行。

4.5 一次调频控制采用的频率或转速信号应采用发电机组出口机端电压频率或机组转速,或新能源场站内母线电压频率。每个独立的一次调频控制单元,其接法器位置反馈信号、频率或转速信号、有功功率反馈信号均应采用“三取中”等冗余配置,冗余输入/输出(I/O)测点应分配在不同的模块上。

注:“三取中”是指测量信号采用三个独立的输入,取其中值信号为实际使用值。

4.6 影响并网电源一次调频性能的相关部件在改造、大修、软件升级、逻辑或参数等修改后,应重新开展一次调频试验。

4.7 并网电源应定期进行一次调频复核试验,复核周期不应超过 5 年,复核试验完成后应向电网调度机构提供试验报告。

4.8 具有孤网或孤岛运行可能的机组,机组调节系统应针对孤岛、孤网运行方式配备专门的一次调频功能,其性能指标应根据电网稳定需求确定。

4.9 具有频率振荡风险的电力系统,机组一次调频性能指标应根据电网稳定需求确定。

5 火电/燃气/燃油/光热发电机组一次调频技术规定

5.1 频率测量分辨率及一次调频回路运算周期

频率测量分辨率应不大于 0.003 Hz,火电/光热机组一次调频回路程序运算周期应不大于 100 ms,燃气/燃油机组一次调频回路程序运算周期应不大于 50 ms。

5.2 一次调频死区

火电/燃气/燃油/光热机组一次调频死区设置应不大于 ± 2 r/min 或者 ± 0.033 Hz。

5.3 一次调频限幅

5.3.1 火电/燃气/燃油/光热机组一次调频限幅应满足下列规定:

- a) 额定有功功率 < 350 MW 的发电机组,一次调频功率变化幅度应不小于 $\pm 10\%$ 额定有功功率;
- b) 350 MW \leq 额定有功功率 < 500 MW 的发电机组,一次调频功率变化幅度应不小于 $\pm 8\%$ 额定有功功率;
- c) 额定有功功率 ≥ 500 MW 的发电机组,一次调频功率变化幅度应不小于 6% 额定有功功率;
- d) 机组额定有功功率运行时参与一次调频,增负荷方向一次调频功率变化幅度应不小于 6% 额定有功功率,减负荷方向一次调频功率变化幅度按照 a)、b)、c) 执行;

e) 机组参与一次调频的负荷下限应大于机组最低稳定负荷。

5.3.2 一拖一的燃气-蒸汽联合循环机组,一次调频的额定有功功率基值为燃气和蒸汽机组额定有功功率之和,一般由燃气机组承担一次调频功能。

5.3.3 二拖一的燃气-蒸汽联合循环机组,一次调频的额定有功功率基值为二拖一机组额定有功功率之和,一般由两台燃气机组承担一次调频功能。采用一拖一的运行方式时,额定有功功率基值为二拖一机组额定有功功率之和的二分之一。

5.4 转速不等率

火电/燃气/燃油/光热机组一次调频转速不等率应为4%~5%。

5.5 一次调频动态性能

频率/转速阶跃扰动试验中,一次调频动态性能应满足下列规定:

- a) 一次调频有功功率的滞后时间应不大于2 s;
- b) 火电/光热机组一次调频有功功率达到75%目标功率的时间应不大于15 s,上升时间应不大于30 s,有功功率的调节时间应不大于45 s;
- c) 燃气/燃油机组一次调频有功功率上升时间应不大于15 s,调节时间应不大于30 s;
- d) 一次调频有功功率超调量不大于30%,振荡次数不大于2次。

6 核电机组一次调频技术规定

6.1 频率测量分辨率及一次调频回路运算周期

频率测量分辨率应不大于0.003 Hz,核电机组一次调频回路程序运算周期应不大于100 ms。

6.2 一次调频死区

核电机组一次调频死区设置应不大于±0.067 Hz。

6.3 一次调频限幅

核电机组参与一次调频的一次调频功率变化幅度可进行限制,应满足下列规定:

- a) 一次调频功率变化幅度应不小于6%额定有功功率;
- b) 机组额定有功功率运行时应参与一次调频,增负荷方向一次调频功率变化幅度为2%~6%额定有功功率,减负荷方向一次调频功率变化幅度应不小于6%额定有功功率。

6.4 转速不等率

核电机组一次调频转速不等率应为4%~5%。

6.5 一次调频动态性能

频率/转速阶跃扰动试验中,核电机组一次调频动态性能应满足下列规定:

- a) 一次调频有功功率的滞后时间应不大于2 s;
- b) 一次调频有功功率达到75%目标功率的时间不大于15 s;
- c) 一次调频有功功率上升时间应不大于30 s;
- d) 一次调频有功功率调节时间应不大于45 s;
- e) 一次调频有功功率超调量应不大于30%,振荡次数应不大于2次。

6.6 其他

核电机组燃料末期无法投入一次调频功能的除外。

7 水力发电机组一次调频技术规定

7.1 频率测量分辨率及一次调频回路运算周期

频率测量分辨率应不大于 0.003 Hz,水电机组一次调频回路程序运算周期应不大于 40 ms。

7.2 一次调频死区

水电机组一次调频死区设置应不大于 ± 0.05 Hz。

7.3 永态差值系数

水电机组永态差值系数应满足下列要求：

- a) 开度调节模式下,永态差值系数 b_p 应不大于 4%；
- b) 功率调节模式下,永态功率差值系数(调差率) e_p 应不大于 3%。

7.4 一次调频限幅

频率/转速阶跃扰动试验中,水电机组一次调频功率变化幅度应满足下列规定：

- a) 非额定有功功率工况下,水电机组参与一次调频的调频负荷变化幅度应不设限制;超出适用条件的,应对一次调频功率进行限制,一次调频功率变化幅度应不小于 10%额定有功功率；
- b) 机组额定有功功率运行时应参与一次调频,增负荷方向一次调频功率变化幅度应不小于 8%额定有功功率,减负荷方向一次调频功率变化幅度应不设限制；
- c) 水头不足导致机组功率无法达到额定有功功率工况的,机组最大出力下增负荷方向一次调频调节幅度应不小于 8%额定有功功率。

7.5 一次调频动态性能

频率/转速阶跃扰动试验中,水电机组一次调频动态性能应满足下列规定：

- a) 自频差超出一次调频死区开始,至接力器变化开始变化的时间不大于 2 s,或至有功功率开始变化的时间不大于 2 s；
- b) 一次调频有功功率上升时间应不大于 15 s；
- c) 一次调频有功功率调节时间应不大于 30 s；
- d) 一次调频有功功率反调量应不大于发电机电气功率调节量的 30%；
- e) 一次调频有功功率超调量应不大于 30%,振荡次数不大于 2 次。

7.6 超出适用条件的水电机组一次调频动态性能

有下列情况的水电机组一次调频动态指标另行约定：

- a) 无调压设施的水轮机过水系统的水流惯性时间常数 T_w 大于 4 s；
- b) 带有调压井的水轮机调节系统,其稳定面积设计安全系数小于 1.15。

8 新能源场站一次调频技术规定

8.1 一次调频死区

新能源场站一次调频死区应满足下列规定：

- a) 风电场一次调频的死区应设置在 ± 0.03 Hz $\sim\pm 0.1$ Hz 范围内,根据电网需要确定；
- b) 光伏电站一次调频的死区应设置在 ± 0.02 Hz $\sim\pm 0.06$ Hz 范围内,根据电网需要确定。

8.2 一次调频限幅

频率阶跃扰动试验中,新能源场站一次调频功率变化幅度应满足下列规定：

- a) 当系统频率低于额定频率时,新能源场站应根据一次调频曲线增加有功功率输出,一次调频功率变化幅度限制设置应不小于 6% 运行功率；
- b) 当系统频率高于额定频率时,新能源场站应根据一次调频曲线减少有功输出,一次调频功率变化幅度限制应不小于 10% 运行功率。

8.3 一次调频调差率

新能源场站一次调频调差率应为 2% \sim 10%,根据电网需求确定。

8.4 一次调频动态性能

风电场频率阶跃扰动试验中,一次调频动态性能应满足下列规定：

- a) 一次调频有功功率的滞后时间应不大于 2 s；
- b) 一次调频有功功率上升时间应不大于 9 s；
- c) 一次调频有功功率调节时间应不大于 15 s；
- d) 一次调频达到稳定时的有功功率调节偏差不超过 $\pm 1\%$ 额定有功功率。

光伏电站频率阶跃扰动试验中,一次调频动态性能应满足下列规定：

- a) 一次调频有功功率的滞后时间应不大于 1 s；
- b) 一次调频有功功率上升时间应不大于 5 s；
- c) 一次调频有功功率调节时间应不大于 15 s；
- d) 一次调频达到稳定时的有功功率调节偏差不超过 $\pm 1\%$ 额定有功功率。

9 储能电站一次调频技术规定

9.1 一次调频死区

储能电站一次调频的死区应设置在 ± 0.03 Hz $\sim\pm 0.05$ Hz 范围内,根据电网需要确定。

9.2 一次调频限幅

储能电站一次调频功率变化幅度原则上不设置限幅,必要时限幅应不小于 20% 额定有功功率。

9.3 一次调频调差率

储能电站一次调频调差率应为 0.5% \sim 3%,根据电网需求确定。

9.4 一次调频动态性能

储能电站在充电及放电状态下均应具备一次调频能力。频率阶跃扰动试验中,储能电站一次调频

动态性能应满足下列规定：

- a) 一次调频有功功率的滞后时间应不大于 1 s；
- b) 一次调频有功功率的上升时间应不大于 3 s；
- c) 一次调频有功功率的调节时间应不大于 4 s；
- d) 一次调频达到稳定时的有功功率调节偏差不超过 $\pm 1\%$ 额定有功功率。

10 火电/燃气/燃油/光热发电机组一次调频试验

10.1 试验条件

10.1.1 新建机组可在单阀或顺序阀调节模式下进行一次调频试验。

10.1.2 正常运行存在单阀、顺序阀相互切换的机组，一次调频试验包括单阀方式下的一次调频试验和顺序阀方式下的一次调频试验。

10.1.3 无单阀、顺序阀运行工况的其他火电/燃气/燃油/光热机组进行的一次调频试验应能表征该机组运行工况下的实际性能。

10.2 试验工况

10.2.1 试验应至少包括 60%、75%、90%、100%额定有功功率四个工况。

10.2.2 具备深度调峰运行能力的机组，应在深度调峰运行区间核定的深度调峰功率下限选取工况点进行一次调频试验，一次调频动态指标应满足本文件规定。

10.3 试验项目

10.3.1 一次调频死区测试

通过连续改变模拟的机组频差(转速)信号测试一次调频死区，直至有功功率开始规律性调节。

10.3.2 一次调频动态性能测试

通过频差(转速)阶跃试验得到一次调频滞后时间、上升时间、调节时间。每个工况阶跃试验至少包含 ± 0.1 Hz(± 6 r/min)及 ± 0.133 Hz(± 8 r/min)有效频差阶跃，频差应持续直至有功功率达到目标值并保持 30 s 以上。

10.3.3 一次调频限幅测试

最大调节幅度测试应选择 60%、75%、90%、100%工况下进行，深度调峰运行的机组应在深度调峰工况下进行最大调节幅度测试。

10.4 数据记录

10.4.1 应采用连续录波方式记录频率(转速)偏差、一次调频调节量输出、调节汽门开度位置反馈、主蒸汽压力、发电机电气功率等信号。

10.4.2 火电/光热机组测试信号的输出扫描周期应不大于 100 ms，燃气/燃油机组测试信号的输出扫描周期应不大于 50 ms。

10.5 复核试验

10.5.1 试验项目应包括：死区测试、一次调频动态性能测试、一次调频限幅测试。

10.5.2 试验应包括 60%、75%、90%、100%额定有功功率四个工况，具备深度调峰运行能力的机组，应

在深度调峰运行区间核定的深度调峰功率下限选取工况点进行一次调频试验复核。

10.5.3 复核试验应满足本文件规定。

11 核电机组一次调频试验

11.1 试验工况

试验应至少包括 75%、90%、100% 额定有功功率三个工况。

11.2 试验项目

11.2.1 一次调频死区测试

通过连续改变模拟的机组频差(转速)信号测试一次调频死区,直至有功功率开始规律性调节。

11.2.2 一次调频动态性能测试

通过频差(转速)阶跃试验得到一次调频滞后时间、上升时间、调节时间。

每个工况阶跃试验至少包含 ± 0.1 Hz 及 ± 0.133 Hz 有效频差阶跃,频差应持续保持至一次调频功率达到稳定值后 30 s。

11.2.3 一次调频限幅测试

最大调节幅度测试应选择 75%、90%、100% 工况下进行。

11.3 数据记录

11.3.1 应采用连续录波方式记录频率(转速)偏差、一次调频调节量输出、调节汽门开度位置反馈、主蒸汽压力、发电机电气功率等信号。

11.3.2 测试信号的输出扫描周期应不大于 100 ms。

11.4 复核试验

11.4.1 试验项目应包括:死区测试、一次调频动态性能测试、一次调频限幅测试。

11.4.2 试验应包括 75%、90%、100% 额定有功功率三个工况。

11.4.3 复核试验应满足本文件规定。

12 水力发电机组一次调频试验

12.1 试验条件

12.1.1 一次调频试验应在机组调节系统正常投入使用的调节模式下进行。

12.1.2 机组有监控系统功率闭环调节的,应测试监控系统功率闭环调节投入条件下的一次调频性能。

12.2 试验工况

12.2.1 试验应包含 60%、75%、90%、100% 额定有功功率四个工况,机组测试工况点应避开机组强振动区等非推荐性运行区。

12.2.2 试验需对机组不同水头下的一次调频性能验证的,应测试不同水头下一次调频性能。

12.3 试验项目

12.3.1 一次调频死区测试

通过连续改变模拟的机组频差(转速)信号测试一次调频死区,直至有功功率开始规律性调节。

12.3.2 一次调频动态性能测试

通过频差(转速)阶跃试验得到一次调频滞后时间、上升时间、调节时间。

每个工况阶跃试验至少包含 ± 0.1 Hz的有效频差阶跃,最大有效频差宜不超过 ± 0.2 Hz,频差应持续保持至一次调频功率达到稳定值后 30 s。

12.3.3 一次调频限幅测试

设置有一次调频限幅的,最大调节幅度测试应选择 60%、75%、90%、100%工况下进行。

12.4 数据记录

12.4.1 应采用连续录波方式记录频率(转速)偏差、一次调频调节量输出、导叶开度反馈或接力器行程位置反馈、发电机电气功率等信号;并记录试验时的水头数据。

12.4.2 测试信号的输出扫描周期应不大于 100 ms。

12.5 复核试验

12.5.1 试验项目应包括:死区测试、一次调频动态性能测试、一次调频限幅测试。

12.5.2 试验应包括 60%、75%、90%、100%额定有功功率四个工况。

12.5.3 复核试验应满足本文件规定。

13 新能源场站一次调频试验

13.1 试验工况

13.1.1 试验负荷工况应至少包括新能源场站低负荷及高负荷运行区间的两个工况。低负荷工况选择 20%~50%额定有功功率之间,高负荷工况选择 65%~100%额定有功功率之间。

13.1.2 对 100%额定有功功率工况有特定要求的,应开展 100%额定有功功率工况下的一次调频试验。

13.2 试验项目

13.2.1 一次调频死区测试

通过连续改变模拟的机组频差(转速)信号测试一次调频死区,直至有功功率开始规律性调节。

13.2.2 一次调频动态性能测试

通过频差(转速)阶跃试验得到一次调频滞后时间、上升时间、调节时间。

每个工况阶跃试验至少包含 ± 0.05 Hz、 ± 0.15 Hz、 ± 0.2 Hz的有效频差阶跃,最大有效频差宜不超过 ± 0.5 Hz,频差应持续保持至一次调频功率达到理论计算值后 20 s。

13.2.3 一次调频限幅测试

设置有一次调频限幅的,应分别测试低负荷和高负荷工况下一次调频限幅值。

对 100%额定有功功率工况有特定要求的,应开展 100%额定有功功率工况下一次调频限幅值

测试。

13.3 数据记录

13.3.1 应采用连续录波方式记录频率(转速)偏差、并网点电压、电流、电气功率等信号。

13.3.2 测试信号的输出扫描周期应不大于 100 ms。

13.4 复核试验

13.4.1 试验项目应包括:死区测试、一次调频动态性能测试、一次调频限幅测试。

13.4.2 试验应包括低负荷及高负荷运行区间的两个工况。

13.4.3 复核试验应满足本文件规定。

14 储能电站一次调频试验

14.1 试验工况

一次调频试验应选择充电状态下的高负荷和低负荷工况,以及放电状态下的高负荷和低负荷工况。

14.2 试验项目

14.2.1 一次调频死区测试

通过连续改变模拟的机组频差(转速)信号测试一次调频死区,直至有功功率开始规律性调节。

14.2.2 一次调频动态性能测试

通过频差(转速)阶跃试验得到一次调频滞后时间、上升时间、调节时间。

每个工况阶跃试验至少包含 ± 0.05 Hz、 ± 0.15 Hz、 ± 0.2 Hz 的有效频差阶跃,最大有效频差宜不超过 ± 0.25 Hz,频差应持续保持至一次调频功率达到理论计算值后 30 s。

14.2.3 一次调频限幅测试

设置有一次调频限幅的,应测试充电状态下的高负荷和低负荷工况,以及放电状态下的高负荷和低负荷工况下的最大调节幅度。

14.3 数据记录

14.3.1 应采用连续录波方式记录频率(转速)偏差、一次调频调节量输出、电气功率等信号。

14.3.2 测试信号的输出扫描周期应不大于 50 ms。

14.4 复核试验

14.4.1 试验项目应包括:死区测试、一次调频动态性能测试、一次调频限幅测试。

14.4.2 试验应包括低负荷及高负荷运行区间的两个工况。

14.4.3 复核试验应满足本文件规定。

参 考 文 献

- [1] GB/T 40594—2021 电力系统网源协调技术导则
 - [2] DL/T 2194—2020 水力发电机组一次调频技术要求及试验导则
-