

# T/EPIAJL

## 吉林省电力行业协会团体标准

T/EPIAJL 22—2025

代替 T/EPIAJL 6-2020

### 火电机组灵活性改造后一次调频性能验收 规范

Code for primary frequency acceptance test of flexibility modification in fossil fuel  
power unit

2025 - 12 - 02 发布

2026 - 01 - 01 实施

## 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 主要技术指标 .....	2
4.1 转速不等率 .....	2
4.2 调频死区 .....	2
4.3 动态指标 .....	2
4.4 一次调频负荷变化幅度 .....	3
4.5 一次调频投切 .....	3
4.6 调频响应范围 .....	3
5 试验条件 .....	3
6 试验要求和方法 .....	3
6.1 试验运行工况的选择 .....	3
6.2 试验负荷工况的选择 .....	4
6.3 试验扰动量的选择 .....	4
6.4 试验信号的选取 .....	4
6.5 试验数据的收集 .....	4
7 试验步骤 .....	4
8 性能验收 .....	4
8.1 试验目的 .....	4
8.2 静态功能验收 .....	4
8.3 动态功能验收 .....	4
9 试验报告编制 .....	5
附录 A (资料性) .....	6
附录 B (资料性) .....	7

## 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。

本文件代替T/EPIAJL 6-2020《火电机组灵活性改造后一次调频验收试验规范》，与T/EPIAJL 6-2020相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 本文件适用于单机容量为100MW及以上的火力发电机组灵活性改造后一次调频性能验收；
- b) 引用文件GB/T 30370-2022和GB/T 26863-2022更新；
- c) 删除引用文件东北监能市场[2019]115号《东北区域发电厂并网运行管理实施细则》及其引用内容；
- d) 删除了Q/GDW 669-2011《火力发电机组一次调频试验导则》；
- e) 删除了引用文件DL/T 996-2019《火力发电厂汽轮机控制系统技术条件》及其引用内容；
- f) 新增引用文件DL/T 711-2019《汽轮机调节保安系统试验导则》及其引用内容；
- g) 修改4.4中一次调频负荷变化幅度；
- h) 更改调频响应范围中4.6.2和4.6.3的相关要求；
- i) 6.3.1中阶跃扰动试验频差改变；
- j) 新增6.3.3最大调节幅度试验。

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。

本标准由吉林省电力科学研究院有限公司提出。

本标准由吉林省电力行业协会归口。

本标准起草单位：吉林省电力科学研究院有限公司、国网吉林省电力有限公司电力科学研究院、国网吉林省电力有限公司、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、国家能源集团吉林电力有限公司双辽发电厂、国能吉林龙华热电股份有限公司白城热电厂、国网吉林省电力有限公司营销服务中心、国网吉林省电力有限公司通化供电公司。

本标准主要起草人：司瑞才、李佳、王松寒、孙首珩、曲绍杰、张继权、高重晖、李德鑫、李成钢、王镜然、刘希闻、王忠言、毕正军、董洪达、李宝聚、宋永超、李云鹏、葛朋、张英、姚远、姚卓宏、姚莹莹、豆中州、苏程志、乔彬、汪茁、杨红柳。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2020年首次发布为T/EPIAJL 6-2020；
- 本次为第一次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至吉林省电力行业协会（吉林省长春市南关区通化路1100号，130022）。

# 火电机组灵活性改造后一次调频性能验收规范

## 1 范围

本文件规定了火电机组灵活性改造后，一次调频性能测试验收的术语和定义、主要技术指标、试验条件、试验要求和方法、试验步骤、性能验收、试验报告编制。

本文件适用于单机容量为100MW及以上的火力发电机组灵活性改造后一次调频性能验收，其他容量机组可参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所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（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 30370-2022 火力发电机组一次调频试验及性能验收导则  
 GB/T 26863-2022 火电站监控系统术语  
 DL/T 711-2019 汽轮机调节保安系统试验导则

## 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

汽轮机调速系统根据电网频率的变化自动调节汽门开度，改变汽轮机功率以适应负荷变化。由锅炉蓄能支持一次调频的能量，以适应快速、小幅度的负荷变化。

### 3.2

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

特指一次调频调节系统在额定转速附近对转速或网频的不灵敏区。为了在电网周波变化较小的情况下，提高机组运行的稳定性，一般在一次调频调节系统设置有一次调频死区。

### 3.3

**一次调频响应滞后时间** response delay time of primary frequency control; DT

转差或频差最后一次超出一次调频死区开始到机组负荷向正确的调频方向开始变化的时间。

### 3.4

**一次调频稳定时间** stabilization time of primary frequency compensation; ST

转差或频差超出一次调频死区开始到机组负荷最后一次进入偏离稳态值偏差为 $\pm 25\%$ 范围之内，且以后不再越出此范围所需要的时间。

### 3.5

**转速不等率** droop

汽轮机控制系统静态特性曲线的斜率。通常以对应空负荷与满负荷的转速差值与额定转速比值的百分数来表示。

[GB/T 26863-2022, 6.29.4.15]

### 3.6

**自动发电控制** automatic generation control; AGC

根据电网负荷指令，控制发电机有功功率的自动控制系统。

[GB/T 26863-2022, 6.29.8]

### 3.7

**协调控制系统** coordinated control system; CCS

将锅炉（包括常压循环流化床）-汽轮发电机组、或燃气轮发电机组-余热锅炉-蒸汽轮发电机组、或反应堆-汽轮发电机组作为一个整体进行控制，通过控制回路协调锅炉（包括常压循环流化床）与汽轮机组、或燃气轮机与余热锅炉和汽轮机组、或反应堆与汽轮机组、或在自动状态的工作，给锅炉（包括常压循环流化床、余热锅炉）、反应堆、汽轮机、燃气轮机的自动控制系统发出指令，以适应负荷变化的需要，尽最大可能发挥机组调频、调峰的能力。

[GB/T 26863-2022, 6.29.1]

### 3.8

**数字式电液控制系统** digital electro-hydraulic control system; DEH

由电气原理设计的敏感元件和数字电路（计算机），按电气/液压原理设计的放大元件和伺服机构所组成的控制系统。通称数字式电液控制系统，简称数字电调。

[GB/T 26863-2022, 6.29.4.3]

### 3.9

**额定功率** rated power  $P_0$ ; MW 或 kW

在额定的新蒸汽参数、再热蒸汽参数、规定的背压以及补给水率为零的条件下，不超过规定寿命时，发电机端子处的保证连续功率，额定功率也称铭牌功率、额定负荷、额定出力。

[DL/T 711-2019, 表2中第1条]

### 3.10

**阀位控制** valve position control; VC

汽轮机调节汽门开度为被调量，手动控制调节汽门开度，简称阀控方式。

### 3.11

**负荷上限** toplimit of power;  $P_{top}$ ; MW 或 kW

机组经过切除低压缸供热以及双转子供热等灵活性改造后，锅炉额定蒸发量运行时所对应的机组负荷。

### 3.12

**负荷下限** lowlimit of power;  $P_{low}$ ; MW 或 kW

锅炉不投辅助燃料助燃而能长期、连续、稳定运行的最低负荷，又称最低稳燃负荷、最低负荷。

### 3.13

**灵活性改造** Flexible transformation; FT

灵活性改造是指火电机组为了提升运行灵活性所进行的改造，在本标准中指火电机组在经过切除低压缸供热以和双转子供热技术进行的改造。

## 4 主要技术指标

### 4.1 转速不等率

火电机组转速不等率应符合 GB/T 30370-2022 中 5.2 的规定。

### 4.2 调频死区

机组参与一次调频死区应符合 GB/T 30370-2022 中 5.3 的规定。

### 4.3 动态指标

4.3.1 机组参与一次调频的响应滞后时间应符合 GB/T 30370-2022 中 5.4.1 的规定。

4.3.2 机组参与一次调频的稳定时间应符合 GB/T 30370-2022 中 5.4.2 的规定。

4.3.3 机组一次调频的负荷调整幅度应满足GB/T 30370-2022中 5.4.3的规定。

#### 4.4 一次调频负荷变化幅度

4.4.1 机组参与一次调频的调频负荷变化幅度上限应进行限制，限制幅度在  $6\% \sim 10\%P_0$  之间，具体规定如下：

- a)  $250\text{MW} \geq P_0$  的火电机组，限制幅度  $> 10\%P_0$ ；
- b)  $350\text{MW} \geq P_0 > 250\text{MW}$  的火电机组，限制幅度  $> 8\%P_0$ ；
- c)  $500\text{MW} \geq P_0 > 350\text{MW}$  的火电机组，限制幅度  $> 7\%P_0$ ；
- d)  $P_0 > 500\text{MW}$  的火电机组，限制幅度  $> 6\%P_0$ 。

4.4.2 深度调峰运行的机组，在深度调峰运行区间参与一次调频的调频负荷变化幅度上限要求如表2。

表2 深度调峰运行机组一次调频的最大调整负荷限定幅度

机组类型	$50\%P_0 > P_{\text{low}} \geq 40\%P_0$	$40\%P_0 > P_{\text{low}} \geq 30\%P_0$	$30\%P_0 > P_{\text{low}} \geq 20\%P_0$
$250\text{MW} \geq P_0$	$\pm 10\%P_{\text{top}}$	$\pm 6\%P_{\text{top}}$	$\pm 5\%P_{\text{top}}$
$350\text{MW} \geq P_0 > 250\text{MW}$	$\pm 8\%P_{\text{top}}$	$\pm 5\%P_{\text{top}}$	$\pm 4\%P_{\text{top}}$
$500\text{MW} \geq P_0 > 350\text{MW}$	$\pm 7\%P_{\text{top}}$	$\pm 4\%P_{\text{top}}$	$\pm 4\%P_{\text{top}}$
$P_0 > 500\text{MW}$	$\pm 6\%P_{\text{top}}$	$\pm 4\%P_{\text{top}}$	$\pm 3\%P_{\text{top}}$

#### 4.5 一次调频投切

4.5.1 DEH 及 CCS 操作系统中，应取消一次调频的投、退按钮。

4.5.2 禁止更改死区值。

#### 4.6 调频响应范围

4.6.1 机组一次调频负荷响应范围最低不低于机组的负荷下限，最高为机组灵活性改造后所能达到的负荷上限。

4.6.2 机组负荷在负荷上限及以上运行时，参与向上的负荷调节幅度至少可达  $3\%P_0$ 。

4.6.3 机组负荷在负荷下限及以下运行时，参与向下的负荷调节幅度至少可达最大调节幅度。

### 5 试验条件

5.1 机组负荷下限、负荷上限已明确。

5.2 采用分散控制系统（DCS）、具有机组协调控制和自动发电控制（AGC）功能的机组，由数字电液调节系统、分散控制系统共同完成一次调频功能，参见附录 A。

5.3 机组退出 AGC 控制方式。

5.4 协调控制系统或 DEH 功率控制系统正常投入，机组控制稳定。

5.5 主要控制系统正常投入。

5.6 DEH 系统运行正常。

5.7 各主要监视仪表指示准确，状态及报警保护信号传动试验合格，指示正确可靠。机组运行的主要参数，包括主汽温度、主汽压力、汽包水位（中间点温度）、炉膛负压等运行稳定，无报警或异常。

5.8 试验方案已批准，并成立职责分工明确的试验组织机构。

5.9 试验工况应取得电网调度部门的同意。

### 6 试验要求和方法

#### 6.1 试验运行工况的选择

6.1.1 试验在机组常规运行方式下进行，试验前确认机组的常规运行方式。

6.1.2 火电机组的常规运行方式包括单阀运行方式和顺序阀运行方式，其中包括单阀运行方式和顺序阀

运行方式均包含 CCS 控制方式，DEH 功率控制方式，DEH 阀位控制方式。

## 6.2 试验负荷工况的选择

### 6.2.1 机组纯凝运行工况

分别在机组负荷下限、50%额定负荷、70%额定负荷、90%额定负荷进行一次调频试验。

### 6.2.2 机组供热运行工况

在额定供热量和最大供热量工况之间进行试验。根据不同供热方式，试验负荷选取在负荷下限和负荷上限之间等选取 3~4 个负荷点进行，其中负荷下限为必选负荷点，负荷以机组功率为准。

## 6.3 试验扰动量的选择

6.3.1 在选取的负荷工况点，应分别进行  $\pm 0.1\text{Hz}$  ( $\pm 6\text{r/min}$ ) 及  $\pm 0.133\text{Hz}$  ( $\pm 8\text{r/min}$ ) 频差阶跃扰动试验；

6.3.2 选择中间负荷工况点进行机组调频上限试验和同调频上限具有同等调频负荷绝对值的降负荷调频试验，检验机组的调频性能；

6.3.3 机组最大调节幅度试验在 50% $P_0$ 、70% $P_0$ 、90% $P_0$  工况任选一点进行。

## 6.4 试验信号的选取

6.4.1 试验采用设定频差信号的方法，可采用机组控制系统生成，亦可采用外接信号发生设备生成。

6.4.2 分别在 CCS、DEH 两种运行方式下进行，但外接设备生成时，应做好安全措施。

## 6.5 试验数据的收集

6.5.1 试验数据宜采用专用信号录波仪收集。

6.5.2 使用 DCS 系统或 DEH 系统本身的数据收集功能，应保证 DCS 或 DEH 系统的数据收集周期不大于 1 秒，且试验数据能如实反映在相应的趋势图中。

## 7 试验步骤

7.1 机组稳定运行在某一试验要求的负荷工况。

7.2 启动数据采集装置。

7.3 生成某一阶跃频差，作用于一次调频回路，并保证 CCS 回路和 DEH 回路的频差一致。

7.4 频差持续不少于 1min，然后恢复频差函数。

7.5 记录该次试验数据（功率、调门反馈、主汽压力、调节级压力、转差（频差）等）。

7.6 重复 7.3 至 7.5 步骤，直至该负荷工况下各个频差扰动试验结束。

7.7 调整机组负荷到下一个试验工况。

7.8 重复 7.2 至 7.6 步骤，直至各个负荷工况的试验结束。

7.9 恢复系统至试验前状态。

## 8 性能验收

### 8.1 试验目的

验证火电机组在经过切除低压缸供热以及双转子供热等灵活性改造后，机组一次调频功能的完整性、一次调频性能是否满足本标准指标要求，同时应确认火力发电机组参与电网一次调频时的调节安全。

### 8.2 静态功能验收

静态功能验收包括控制回路检查参数设置核查，按照第 4 章和 6.1 的规定进行。

### 8.3 动态功能验收

8.3.1 动态指标验收依据试验结果直接或间接计算进行。指标包括第 4 章所规定的全部内容。指标有转

速不等率、一次调频死区、一次调频响应时间、一次调频稳定时间、一次调频响应速度和一次调频负荷变化幅度等。

8.3.2 任一负荷工况的各动态指标应满足第4章所规定的要求，任一负荷各动态指标，以该负荷工况下各阶跃扰动响应的平均值为最终验收值。

8.3.3 验收结果以附录B进行记录。

## 9 试验报告编制

试验结束后，应编写试验报告，主要包括：

- a) 试验目的及范围。
- b) 设备概况。
- c) 测点及仪器仪表一览。
- d) 系统设计概况，包括设计指标、工程实施方案。
- e) 试验条件或方法。
- f) 试验数据分析，采用表格、曲线或图示表示，包括试验原始测点数据或趋势图。
- g) 试验结果与要求的技术指标进行比较，并作出评价。
- h) 结论。

附录 A  
(资料性)  
一次调频功能典型原理图

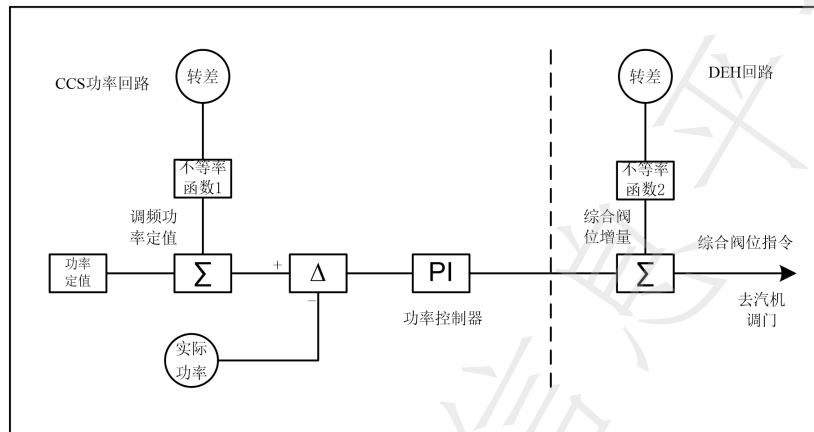


图 A.1 汽轮机一次调频功能实现典型原理图

附录 B  
(资料性)

一次调频性能试验及验收表

表 B.1 一次调频试验数据

	频差 (Hz)	主汽压力 (MPa)	综合 阀 位 (%)	目标 负荷 (MW)	实际 负荷 (MW)	响应 时间(s)	稳定 时间 (s)	15s 时负荷 (MW)
试验前	0							
稳定后	-0.1							
试验前	0							
稳定后	+0.1							
试验前	0							
稳定后	-0.133							
试验前	0							
稳定后	+0.133							
试验前	0							
稳定后	22							

表 B.2 数据指标计算

频差 (Hz)	负荷变化 (MW)	转速不等率 (%)	15s 负荷/目标负荷 (%)	稳定负荷/目标负荷 (%)
-0.1				
+0.1				
-0.133				
+0.133				
22x				

表 B.3 性能验收表

指标	标准要求	试验数值 (均值)	结论	备注
转速不等率	4%~5%		合格/不合格	
响应时间	小于 3s		合格/不合格	
15s 响应幅值	大于 90%		合格/不合格	
稳定时间	小于 60s		合格/不合格	
死区	$\pm 0.033\text{Hz}$		合格/不合格	