

# ZJSEE

浙江省电力学会标准

T/ZJSEE XXXX-YYYY

## 燃气机组能耗实测导则 第2部分 变动能耗

Guidance for gas turbine combined cycle energy cost test

Part 2: Incremental energy cost

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省电力学会 发布

# 目 次

前 言 .....	I
引 言 .....	错误!未定义书签。
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 试验原则 .....	2
5 仪表和测量方法 .....	3
6 试验结果计算与修正 .....	4
7 报告编制 .....	8
附录 A （资料性） 对能耗实测试验结果影响较大的测点 .....	10

## 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。

本文件是T/ZJSEE XXXX 2021《燃气机组能耗实测导则》的第2部分。T/ZJSEE XXXX 2022已发布了以下部分：

——第1部分：启动能耗；

——第2部分：变动能耗。

本文件由浙江省电力学会标准工作委员会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次制定。

## 燃气机组能耗实测导则 第2部分：变动能耗

### 1 范围

本标准规定了燃气机组能耗实测试验中的变动能耗实测试验的试验原则、仪表和测量方法、试验结果计算与修正方法和报告编制等要求。

本标准适用于单轴或多轴“一拖一”燃气联合循环发电机组（不含补燃机组），但不包括热电联产机组。“二拖一”多轴燃气联合循环发电机组可参照执行。

### 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 13609 天然气取样导则
- GB/T 13610 天然气的组分分析 气相色谱法
- GB/T 18604 用气体超声波流量计测量天然气流量
- GB/T 18929 联合循环发电装置验收试验
- GB/T 19205 天然气标准参比条件
- GB/T 21391 用气体涡轮流量计测量天然气流量
- GB/T 21446 用标准孔板流量计测量天然气流量
- GB/T 28686 燃气轮机热力性能试验
- DL/T 904 火力发电厂技术经济指标计算方法
- DL/T 1605 联合循环电站气态燃料热值、压缩系数和相对密度的计算方法
- SY/T 6659 用科里奥利质量流量计测量天然气流量

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**燃气机组能耗实测** energy cost test of nature gas-fired units

用于测定燃气发电机组发电、供电能耗的试验，包括机组启动能耗实测试验和变动能耗实测。

#### 3.2

**变动能耗** incremental energy cost

与机组负荷相关的能耗值，包括机组空载能耗值和边际能耗率。

#### 3.3

**天然气标准参比条件** natural gas standard reference conditions

在测量和计算天然气时，使用的标准参比条件是101.325 kPa，20℃（293.15 K）。

[GB/T 19205, 3]

#### 3.4

**机组每小时能耗值 hourly energy cost**

机组在各工况下每小时消耗的燃气流量，由变动能耗实测得到。

## 3.5

**空载能耗值 no-load energy cost**

发电机维持同步转速、输出电功率为零时的机组每小时能耗值。

## 3.6

**边际能耗率 marginal energy cost rate**

发电机组在一定负荷水平时，增加单位功率所需增加的燃料量。

## 3.7

**标准工况 (ISO 工况) standard condition**

指大气温度 15℃，大气压力 101.3 kPa，大气湿度为 60%，汽机排汽压力根据凝汽器性能确定。

## 3.8

**夏季工况 summer condition**

一般在7、8月份进行，大气温度33℃，大气压力为100 kPa，汽机排汽压力根据凝汽器性能确定。

## 3.9

**冬季工况 winter condition**

一般在12月、1月或2月进行，大气温度5℃，大气压力为103 kPa，汽机排汽压力根据凝汽器性能确定。

**4 试验原则****4.1 概述**

试验单位应根据试验机组的运行特点及本标准，编制机组能耗实测试验方案。

燃气机组变动能耗实测试验的主要内容包括燃气机组的性能试验和厂用电率试验。

试验方案应包括试验计划、试验方法，机组应具备的条件及要求、测点布置情况、拟采用的仪器仪表、数据处理方法、组织机构、各单位责任及分工等内容。

**4.2 试验计划****4.2.1 试验负荷点的选取**

变动能耗实测试验应至少选取5个负荷点，其中，最高负荷点为机组基本负荷点，最低负荷点为机组的可选取深度调峰负荷点。其余负荷点应在可调负荷范围内均匀分布确定。

**4.2.2 试验时间的选取**

考虑到燃气机组实际能耗受环境温度影响较大，宜在夏季工况和冬季工况均进行变动能耗实测试验。

**4.3 试验要求****4.3.1 试验前设备状态**

试验前，压气机宜清洗并符合制造厂要求，空气进口滤网宜保持干净。

凝汽器的冷却管宜保持清洁，机组真空严密性合格。

**4.3.2 热力系统隔离原则**

试验前，应对机组热力系统进行隔离操作，尽可能降低机组内外漏。如果可能，与试验系统无关的流量应予以隔离，无法隔离的应进行流量测量。建议热力系统不明泄漏量控制在低压给水流量的1%以内。

以下是试验时通常需隔离的系统和管路：

- a) 主汽阀、截止阀和调节阀疏水；
- b) 高、中、低压蒸汽的管道疏水；
- c) 与邻机相联的管道；
- d) 旁路系统和启动辅助蒸汽系统；
- e) 供热采暖用汽
- f) 凝汽器热井补水

#### 4.3.3 机组参数调整方法

机组AGC应撤出，机组协调控制宜投入，机组在正常运行状况下进行试验。

#### 4.3.4 工况稳定性要求

试验期间，试验参数宜保持稳定以获得准确的试验结果。其主要运行参数宜处于表1所规定的波动范围内，则可认为整个联合循环机组处于稳定运行状态。

表1 运行条件下参数的最大允许偏差

参数	样本标准偏差
机组功率	0.65%
大气压力	0.16%
进气温度	0.7 °C
燃气流量	0.65%
机组转速	0.33%

#### 4.3.5 试验持续时间

正式试验前，机组应保持在试验负荷至少稳定运行1小时方可进入正式试验计时。正式试验计时时间不宜少于1小时。

### 5 仪表和测量方法

#### 5.1 试验测点的布置

重要测点应采用试验专用仪表测量，一般测点可采用机组运行仪表测量。

重要测点清单见附录A。

#### 5.2 发电机功率的测量

宜采用多相精密功率表，或者多相便携式精密电度表配以合适的电压和电流互感器。功率表或电度表的不确定度不大于0.2%。

若运行用发电机功率表满足试验精度要求，也可采用运行仪表测量。

#### 5.3 压力测量

##### 5.3.1 大气压力

宜采用1台绝对压力变送器或电子式测压仪，不确定度不大于0.1%。大气压力计应设置在室外稳定的环境中，其安装位置（垂直）与校准时相同，并处于燃气轮机主轴中心线同一标高。

##### 5.3.2 汽轮机低压缸排汽压力

每个凝汽器至少保证有两个排汽压力测点，测点应有网笼探头且配有连续向上倾斜的传压管，应采用不确定度不超过0.1%的压力变送器。

#### 5.4 压气机进气温度测量

宜在压气机进气小室内安装多支A级热电阻温度计测量。

#### 5.5 大气湿度测量

在进气滤网小室采用不确定度不超过于2%的湿度仪进行测量。

#### 5.6 余热锅炉排烟温度及烟气成分分析

在烟筒垂直管段的同一截面上，等距开4孔，在此处进行烟气取样分析和温度测量。

#### 5.7 气体燃料输入热量

##### 5.7.1 概述

为确定试验期间燃气燃料的输入热量，需确定以下参数：质量流量、燃料组分、低位热值、显热。

##### 5.7.2 燃气流量

可采用超声波流量计（GB/T 18604）、涡轮流量计（GB/T 21391）、科里奥利质量流量计（SY/T 6659），也可采用孔板（GB/T 21446）等流量计。

##### 5.7.3 燃气密度

应根据在同一位置获得的压力、温度以及燃气组分和压缩因子计算燃料密度。压缩因子的计算应符合DL/T 1605的规定。

##### 5.7.4 天然气组分

当采用在线色谱仪进行燃气组分分析时，标准气应符合GB/T 13610 4.2 标准气的要求配置。试验前应采用标准气完成色谱仪的校准工作，标准气的不确定应满足试验不确定的要求。

##### 5.7.5 燃气低位热值

由已确定的燃气组分，根据DL/T 1605气体特性表中确定各组分的热值以及燃气总热值。

##### 5.7.6 显热

在试验边界处测量的燃气温度与低位热值参考温度不同所产生的焓差。

##### 5.7.7 燃气取样

燃气取样应符合GB/T 13609的相关要求。采样位置应尽可能靠近试验边界，应在计量点和燃气加热器上游，并且在会改变气体燃料成分的设备（如过滤器、滤网）的下游，确保样品能代表进入试验边界的真实燃气。

## 6 试验结果计算与修正

### 6.1 联合循环机组总功率的计算

$$P_{CC,t} = \sum_{i=1}^m P_{GTi,t} + \sum_{j=1}^n P_{STj,t} - \sum_{k=1}^{m+n} P_{EPk} \quad (1)$$

式中

$P_{CC,t}$  — 联合循环机组总功率试验测量值，kW；

$P_{GT,t}$  — 燃气轮机发电机出线端试验测得的功率，kW；

$P_{ST,t}$  — 蒸汽轮机发电机出线端试验测得的功率，kW；

$P_{EP}$  — 机组励磁系统耗功, kW;

$m$ 、 $n$ 分别表示燃气轮机和蒸汽轮机发电机组的台数。

## 6.2 燃机总能耗的计算

由试验测量得到的燃机消耗燃气流量和由燃气组分计算得到的低位热值 $LHV_p$ , 可以计算出燃机总能耗。

$$EC_t = \sum_{i=1}^m m_{f,i} \times (LHV_p + SH) \quad (2)$$

$$EC_t^N = EC_t / LHV^N \quad (3)$$

式中

$EC_t$  — 燃气轮机组总能耗, kJ/h;

$m_f$  — 燃气质量流量, kg/h;

$LHV_p$ —单位质量燃气低位热值, kJ/kg;

SH —单位质量燃气显热, kJ/kg;

$EC_t^N$  — 联合循环机组消耗标方燃气, Nm<sup>3</sup>/h;

$LHV^N$ — 标方燃气热值, MJ/Nm<sup>3</sup>。

## 6.3 厂用电率的计算方法

能耗实测中的厂用电率应采用DL/T 904中规定的综合厂用电率。

厂用电采用单元制的机组, 宜采用发电机出口功率与主变高压侧功率的差值与发电机出口功率的比值进行计算。

## 6.4 机组发电标方气耗率计算

$$EPP_{CC} = \frac{EC_{CC,corr}^N}{P_{CC,corr}} \quad (4)$$

式中:

$EPP_{CC}$  —联合循环机组发电标方气耗率, Nm<sup>3</sup>/kWh;

$EC_{CC,corr}^N$  —修正后联合循环机组标方总能耗, Nm<sup>3</sup>/h;

$P_{CC,corr}$  —修正后的联合循环机组总功率, kW。



### 6.5 机组供电标方气耗率计算

$$EPHV_{CC} = \frac{EPP_{CC}}{1-L/100} \quad (5)$$

式中：

$EPHV_{CC}$ —联合循环机组供电标方气耗率，Nm<sup>3</sup>/kWh；

$L$ —厂用电率，%。

### 6.6 机组总能耗与机组功率的关系

根据联合循环机组 5 个工况点的总能耗值与机组功率（上网功率）的对应关系，拟合成一次二元函数，如：

$$f(x) = ax^2 + bx + c \quad (x \text{ 为机组功率, MW, } a、b、c \text{ 分别为常数}) \quad (6)$$

### 6.7 机组空载能耗值和边际能耗值

$$EC_{IC}^N = c \quad (7)$$

$$EC_{MC}^N = \frac{f(P_{CC,Max}) - f(P_{CC,Min})}{P_{CC,Max} - P_{CC,Min}} \quad (8)$$

式中：

$P_{CC,Max}$ —机组最高功率，kW，可选用基本负荷点；

$P_{CC,Min}$ —机组最低功率，kW，可选用深度或 AGC 最低调峰点；

$EC_{IC}^N$ —机组标方空载能耗值，Nm<sup>3</sup>/h；若机组试验负荷区间较小，则可通过试验确定；

$EC_{MC}^N$ —机组标方边际能耗值，Nm<sup>3</sup>/h。

### 6.8 机组热耗率计算

$$HR_{CC,t} = \frac{EC_t}{P_{CC,t}} \quad (9)$$

式中：

$HR_{CC,t}$ —联合循环机组试验热耗率，kJ/kWh。

### 6.9 余热锅炉效率的计算

$$\eta_{SG} = 100 \times \left( 1 - \frac{L}{B_{GT6} + B} \right) \quad (10)$$

式中：

$L = W_{GT6} \times (h_{G19} - h_{RG}) + SB \times (L_R + L_C) + L_{W57,58}$ ，总的热损失，kJ/h；

$B_{GT6} = W_{GT6} \times (h_{G6} - h_{RG})$ ，总的输入热量，kJ/h；

$W_{GT6}$ —燃机排烟流量，kg/h；

$h_{G19}$ —余热锅炉进口烟气焓值，kJ/kg；

$h_{RG}$ —参比烟温下的烟气焓值，kJ/kg；

$SB$ —为导致散热的余热锅炉表面积，m<sup>2</sup>；

$L_R$ —为取决于环境、表面温度及表面辐射率的辐射热损，kW/m<sup>2</sup>；

$L_C$ —为取决于温差和风速的对流热损，kW/m<sup>2</sup>；

$L_{W57,58}$ —系统泄漏导致的热损失，kJ/h；

$B$ —总的外来物理热,如给水泵、循环泵功耗对工质所输入的热增益，kJ/h。

## 6.10 计算与参数修正原则

6.10.1 能耗实测试验的目的是客观反应机组当前的实际运行能耗水平，因此对试验结果不作老化修正。由于燃气机组受环境条件影响较大，因此需根据试验要求修正到相应的工况下。

6.10.2 采用基本负荷工况下的修正曲线对部分负荷下的性能进行修正。

### 6.10.3 汽机排汽压力

汽轮机排汽压力的基准值宜根据循环水温升和端差以及循环水进口温度确定。

修正系数应根据负荷不同而调整。有条件的宜通过汽机变背压试验以获得修正系数。

6.10.4 对单轴燃气机组，采用现有联合循环修正曲线进行对功率和耗热量（热耗率）进行修正。而多轴机组（包括“一拖一”或“二拖一”），若没有联合循环机组的修正曲线，则机组能耗试验修正可采用分岛试验的修正曲线分别修正后再综合。

6.10.5 机组功率因素、汽机背压、汽水系统泄漏量对机组功率采用加法修正，而其余采用乘法修正。

### 6.10.6 联合循环机组总功率的修正

$$P_{CC,corr} = (P_{CC,t} + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_5) \times \prod_{i=1}^6 Fi_p \quad (11)$$

式中

$\Delta_2$  — 机组规定功率因数到试验功率因数对机组功率的修正量，kW；

$\Delta_3$  — 汽水系统泄漏量对机组功率的修正量，采用同等级机组修正曲线，kW；

$\Delta_5$  — 汽机规定背压到试验背压对机组功率的修正量，kW；

$F_p$  — 参数对联合循环机组功率的修正系数。

#### 6.10.7 燃机总能耗的修正

$$EC_{CC,corr} = EC_{CC,t} \times \prod_{i=1}^6 Fi_{EC} \quad (12)$$

式中

$EC_{CC,corr}$  — 修正后燃机总能耗，kJ/h；

$F_{EC}$  — 参数对燃机总能耗的修正系数。

#### 6.10.8 机组热耗率的修正

$$HR_{CC,corr} = HR_{CC,t} \times \prod_{i=1}^6 Fi_{HR} \quad (13)$$

式中

$HR_{CC,corr}$  — 修正后机组总热耗率，kJ/kWh；

$F_{HR}$  — 参数对燃机总能耗的修正系数。

#### 6.10.9 修正项目

对联合循环机组功率、总能耗（热耗率）的修正参数有：大气温度、大气压力、大气湿度、燃气组分、机组转速、压气机进口压损（若压气机进口压损较大的情况下）。一般情况下，主要修正前面3项内容。对没有联合循环修正曲线的机组，则需对燃气、汽机功率分别进行修正，汽机功率修正时要考虑燃机排气流量和排气温度以及余热锅炉效率三者对汽机功率联合影响。

## 7 报告编制

### 7.1 变动能耗实测试验报告宜包括内容

#### 7.1.1 试验概况

7.1.1.1 机组型式、参数

7.1.1.2 机组投产日期

7.1.1.3 试验时间、日期

7.1.1.4 温度、压力、流量、电功率、烟气成分、燃气组分等测点布置和参数测量方法

## 7.1.2 试验结果

7.1.2.1 燃气机组总功率、机组总能耗（热耗率）、厂用电率

7.1.2.2 修正后燃气机组总功率及总能耗

7.1.2.3 拟合出机组每小时能耗值与功率的计算公式

7.1.2.4 机组每小时能耗值、空载能耗值和边际能耗率

## 附录 A

(资料性)

### 对能耗实测试验结果影响较大的测点

在能耗实测试验中，部分测点对结果影响较大，是试验中的重要测点，应采用高精度的试验专用仪表。测点名称详见表A.1

表 A.1 对能耗实测试验结果影响较大的测点

序号	测点名称
1	大气温度
2	大气压力
3	大气湿度
4	发电机功率
5	燃气流量
6	燃气组分
7	汽轮机排汽压力
8	余热锅炉排烟组分*
9	余热锅炉排烟温度*