



中华人民共和国国家标准

GB/T 27748.4—2017/IEC 62282-3-201:2013

固定式燃料电池发电系统 第4部分： 小型燃料电池发电系统性能试验方法

Stationary fuel cell power systems—Part 4: Performance test methods for
small fuel cell power systems

(IEC 62282-3-201:2013 Fuel cell technologies—Part 3-201:
Stationary fuel cell power systems—Performance test methods for
small fuel cell power systems, IDT)

2017-07-12 发布

2018-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会



目 次

前言 Ⅲ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 符号 5

5 小型固定式燃料电池发电系统结构配置及试验边界 9

6 标准条件 9

7 热值基础 9

8 试验准备 10

9 试验装置 10

10 测量仪器和测量方法 12

11 试验条件 14

12 运行过程 15

13 试验计划 16

14 电/热性能型式试验 16

15 环境性能型式试验 32

16 试验报告 39

附录 A (资料性附录) 天然气组分的热值 41

附录 B (资料性附录) 天然气组分案例 43

附录 C (资料性附录) 典型示范试验操作表 45

附录 D (资料性附录) 典型尾气组分 46

附录 E (资料性附录) 详细和完整报告的内容指南 47

参考文献 48



前 言

GB/T 27748《固定式燃料电池发电系统》分为以下4个部分：

- 第1部分：安全；
- 第2部分：性能试验方法；
- 第3部分：安装；
- 第4部分：小型燃料电池发电系统性能试验方法。

本部分为GB/T 27748的第4部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用IEC 62282-3-201:2013《燃料电池技术 第3-201部分：固定式燃料电池发电系统 小型燃料电池发电系统性能试验方法》。

与本部分中规范引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 1859—2000 往复式内燃机 辐射的空气噪声测量 工程法及简易法(ISO 6798:1995, IDT)
- GB/T 3785.1—2010 电声学 声级计 第1部分：规范(IEC 61672-1:2002, IDT)
- GB/T 7488—1987 水质 五日生化需氧量(BOD₅)的测定 稀释与接种法(ISO 5815:1983, NEQ)
- GB/T 19000—2008 质量管理体系 基础和术语(ISO 9000:2005, IDT)
- GB/T 22592—2008 水处理剂 pH值测定方法通则(ISO 10523:1994, NEQ)
- GB/T 27748.2—2013 固定式燃料电池发电系统 第2部分：性能试验方法(IEC 62282-3-200:2011, IDT)

本部分做了下列编辑性修改：

- 对IEC 62282-3-201:2013中式(21)、式(22)、式(32)、式(33)、式(35)、式(36)、式(37)中的符号进行了编辑性更正。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国燃料电池及液流电池标准化技术委员会(SAC/TC 342)归口。

本部分起草单位：上海神力科技有限公司、武汉众宇动力系统科技有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、中国科学院大连化学物理研究所、南京大学昆山创新研究院、深圳市标准技术研究院、北京群菱能源科技有限公司、苏州UL美华认证有限公司、苏州弗尔赛能源科技股份有限公司、新源动力股份有限公司、航天新长征电动汽车技术有限公司、宁波拜特测控技术有限公司。

本部分主要起草人：张若谷、胡少博、齐志刚、卢琛钰、侯明、刘建国、王益群、胡里清、林永清、周斌、俞红梅、顾荣鑫、靳殷实、黄平、陈展展、徐加忠、季良俊、王仁芳、陈晨。



固定式燃料电池发电系统 第4部分： 小型燃料电池发电系统性能试验方法

1 范围

GB/T 27748 的本部分本标准提供了符合以下条件的小型固定式燃料电池发电系统的电/热及环境影响的试验方法：

- 输出功率：额定电输出功率小于 10 kW；
- 输出模式：并网连接/独立运行，或单机运行且不超过 1 000 V 的单相交流输出或三相交流输出，或不超过 1 500 V 的直流输出；

注：1 000 V 的限定条件源于 IEC 601-01-26 中对于“低电压”的定义。

- 运行压力：燃料及氧化剂管道的最大容许工作压力小于 0.1 MPa(表压)；
- 燃料：气态燃料(天然气，液化石油气，丙烷，丁烷，氢气等)或液体燃料(煤油，甲醇等)；
- 氧化剂：空气。

本部分包括的燃料电池发电系统，首要目的为产生电能、次要目的可能为副产品热能的利用。相应地，首要目的为热利用、次要目的为副产品电能的燃料电池发电系统不属于本标准范围。

本部分包括所有集成蓄电池系统，包括蓄电池从内部再充电或从外部电源再充电。

本部分不包括用以产生热能的外加辅助热发生器。

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。

IEC 61672-1 电声学 声级计 第1部分：规格(Electroacoustics—Sound level meters—Part 1: Specifications)

IEC 62282-3-200 燃料电池技术 第3-200部分：固定式燃料电池发电系统 性能测试方法(Fuel cell technologies—Part 3-200: Stationary fuel cell power systems—Performance test methods)

ISO 5815(所有部分)，水质 N天后生化物需氧量的测定(BOD_n)[(all parts), Water quality—Determination of biochemical oxygen demand after n days (BOD_n)]

ISO 6060 水质 化学需氧量的测定(water quality—Determination of the chemical oxygen demand)

ISO 6798 往复式内燃机 空气噪声传播的测量 工程方法与调查方法(Reciprocating internal combustion engines—Measurement of emitted airborne noise—Engineering method and survey method)

ISO 9000 质量管理体系 基础和词汇(Quality management systems—Fundamentals and vocabulary)

ISO 10523 水质 pH值的测定(Water quality—Determination of pH)

ASTM F2602 尺寸排除色谱法联合多角光散射检测(SEC MALS)测定壳聚糖、壳聚糖盐分子量的标准测试方法[Standard Test Method for Determining the Molar Mass of Chitosan and Chitosan Salts by Size Exclusion Chromatography with Multi-angle Light Scattering Detection (SEC MALS)]

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

噪声等级 **noise level**

在某一特定距离处,所测的燃料电池发电系统在所有运行模式下所产生的声压级。

注:表述单位为分贝(dB),测量方法见 15.2。

3.2

背景噪声等级 **background noise level**

在测量点处环境噪声的声压级。

注:15.2 冷态下的燃料电池发电系统采用并描述了此测量方法。

3.3

蓄电池 **battery**

电化学能量储存装置,用来提供能量输入以支持寄生负载及/或提供电能输出。

注:不包括用于控制软件内存及相似应用的备用电池。

3.4

冷态 **cold state**

燃料电池发电系统在环境温度下,无功率输入或输出的状态,可随时启动。

[来源:IEC/TS 62282-1:2010,定义 3.110.1,修改——添加“可随时启动”。]

3.5

排气率 **discharge rate**

单位时间内排出的尾气组分的质量。

3.6

排放水 **discharge water**

从燃料电池发电系统中排放出的水。

注:排放水不构成热回收系统的一部分。

3.7

电效率 **electric efficiency**

在某一给定的时间段内,燃料电池发电系统平均净电功率输出,与在同一时间段内,供给同一燃料电池发电系统的平均燃料功率的比率。

[来源:IEC/TS 62282-1:2010,定义 3.30.1,修改——原定义已修改,且备注已删除。]

3.8

电能输入 **electric energy input**

电输入端的电功率输入积分值。

3.9

电能输出 **electric energy output**

电输出端的电功率输出积分值。

3.10

电功率输入 **electric power input**

燃料电池发电系统电输入端的电功率输入。

3.11

电功率输出 **electric power output**

燃料电池发电系统电输出端的电功率输出。

3.12

燃料电池发电系统 fuel cell power system

用燃料电池模块来产生电能及热的系统。

3.13

燃料输入 fuel input

在特定运行条件下工作时,燃料电池发电系统消耗的天然气、氢气、甲醇、液化石油气、丙烷、丁烷或其他含有化学能的原料的总量。

3.14

燃料功率输入 fuel power input

单位时间内的燃料能量输入。

3.15

热回收效率 heat recovery efficiency

在某一给定的时间段内,燃料电池发电系统平均回收热能,与在同一时间段内,供给同一燃料电池发电系统的平均燃料能量的比率。

[来源:IEC/TS 62282-1:2010,定义 3.30.3,修改——原定义已修正,且备注已删除。]

3.16

热回收流体 heat recovery fluid

在燃料电池发电系统与集热器之间循环的用以回收输出热能的流体。

3.17

惰性吹扫气体 inert purge gas

在特定条件下,为预备燃料电池发电系统运行或停机而提供的不含化学能的惰性气体或稀释气体。

注:含化学能的稀释气体应被视为燃料。

3.18

累计燃料输入 integrated fuel input

燃料电池发电系统在特定运行条件下所消耗燃料的体积或质量。

3.19

边界点 interface point

在燃料电池发电系统边界上原料及/或能量进出边界的测量点。

注:特意选出此边界点是为了精确地测量系统的性能。如果必要时,待评估的燃料电池发电系统边界或边界点(图 2)应由参与方协商确定。

[来源:IEC/TS 62282-1:2010,定义 3.65。]

3.20

质量浓度 mass concentration

单位体积尾气组分的质量的浓度。

3.21

最小电功率输出 minimum electric power output

燃料电池发电系统能够持续稳定运行的最小净电功率输出。

3.22

净电功率 net electric power

电功率输出减去电功率输入后计算所得值。

3.23

额定电功率 nominal electric power

制造商规定的在正常运行条件下,燃料电池发电系统电输出端的电功率输出。

[来源: IEC/TS 62282-1:2010, 定义 3.85.4, 修改——原术语与定义已修正, 且备注已删除。]

3.24

总能量效率 overall energy efficiency

电效率与热回收效率的总和。

3.25

寄生负载 parasitic load

运行燃料电池发电系统所必需的辅助机械、设备, 如配套设备(BOP)所耗的功率。

3.26

(燃料电池发电系统的)回收热 recovered heat (of a fuel cell power system)

从燃料电池发电系统中回收的热能。

注: 通过测量位于燃料电池发电系统边界点进、出热回收子系统的热回收流体(水、蒸汽、空气或油等)的温度及流量, 计算回收热的值。

3.27

回收热功率 recovered thermal power

单位时间内回收的热能。

3.28

关机耗能 shutdown energy

在关机过程时间段内所需消耗的电及/或化学(燃料)能总和。

3.29

关机时间 shutdown time

从在额定电输出功率下开始关机操作起, 至达到制造商规定的冷态或储存状态的时刻之间的时间段。

[来源: IEC/TS 62282-1:2010, 定义 3.115.4, 修改——原定义已修正。]

3.30

待机状态 standby state

燃料电池发电系统具有足够的运行温度、电输出功率为零、且能够迅速转换至大电功率输出的一种状态。

[来源: IEC/TS 62282-1:2010, 定义 3.110.4。]

3.31

启动能耗 start-up energy

a) 对于无蓄电池的燃料电池发电系统, 从冷态或储存状态转换到净电功率输出所需的电及/或化学(燃料)能。

b) 对于有蓄电池的燃料电池发电系统, 把蓄电池从启动时提供额定电能输出的放电后状态, 充电至其标称载荷状态所需的电及/或化学(燃料)能。

3.32

启动时间 start-up time

a) 对于无需外部能源以维持储存状态的燃料电池发电系统, 从冷态转换至正净电功率输出所需的时长。

b) 对于需要外部能源以维持储存状态的燃料电池发电系统, 从储存状态转换至正净电输出所需的时长。

[来源: IEC/TS 62282-1:2010, 定义 3.115.5, 修改——原定义已修正。]

3.33

固定式燃料电池发电系统 stationary fuel cell power system

连接及固定在某一位置上的燃料电池发电系统。

[来源:IEC/TS 62282-1:2010, 定义 3.49.3.]

3.34

储存状态 storage state

燃料电池发电系统的非运行状态。根据制造商规定的条件,可能需要输入热或电能以防止部件性能的衰减及/或为控制系统与其他组件供能以随时准备启动。

[来源:IEC/TS 62282-1:2010, 定义 3.110.6,修改——原定义已修正。]

3.35

测试运行时段 test run

记录的测试结果计算所需数据点间的时间。

注:记录的结果根据这些数据点计算。

3.36

热储存单元 thermal storage unit

从燃料电池发电系统回收的热,储存在该单元部件的热储存介质中,并根据需要通过热载体为外部供热。

注1:该单元部件由热储存罐,热交换器及热载体供应系统构成。

注2:典型的热储存介质为水。

3.37

废热 waste heat

排放出且未回收的热能。

3.38

水耗 water consumption

除了初次蓄水外,(从试验边界之外)供给燃料电池发电系统的水。

4 符号

本标准中所用的符号及其定义列于表1及表2中,包括相应的单位。表1为电/热性能的符号,表2为环境性能的符号。

表1 电/热性能的符号及其含义

符号	定义	单位
Q_{f}	试验条件下的燃料平均体积流速	m^3/s
$q_{\text{f,0}}$	标准条件下的燃料平均体积流速	m^3/s
Q_{f}	试验持续期间的累计体积流量	m^3
Q_{w}	热回收流体的平均体积流速	m^3/s
$Q_{\text{f,HR}}$	热回收流体的累计体积流量	m^3
$Q_{\text{f,HR}}$	试验期间热回收流体在出口的平均体积流速	m^3/s
M_0	理想气体的标准摩尔体积 ($2.364\ 5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$) (在该标准的标准温度下, $t_0 = 288.15 \text{ K}$)	m^3/mol
Q_{mf}	试验条件下的燃料平均质量流速	kg/s
$q_{\text{w,HR}}$	试验期间热回收流体在出口的平均质量流速	kg/s
q_{mf}	试验期间燃料累计质量流量	kg

表 1 (续)

符号	定义	单位
q_{mHR}	热回收流体的累计质量流量	kg
M_{mf}	燃料的摩尔质量	g/mol
M	修正后水的质量	kg
P_a	平均净电功率输出	kW
P_{nom}	额定电功率输出	kW
$P_{inactive}$	储存状态下的平均电功率输入	kW
P_{min}	最小电功率输出	kW
PV_d	电功率输出的下降速率	W /s
PV_u	电功率输出的增加速率	W /s
P_d	额定电功率输出(P_{nom})与最小电功率输出(P_{min})之间的电功率输出变化范围	W
p_o	标准压力[101.325 kPa(绝对)]	kPa (绝对)
p_i	试验期间的平均燃料压力	kPa (绝对)
t_o	标准温度(288.15 K)	K
t_i	试验期间的平均燃料温度	K
t_{HR1}	试验期间热回收流体出口的平均温度	K
t_{HR2}	试验期间热回收流体进口的平均温度	K
ρ_{HR}	在 t_{HR1} 温度下热回收流体的密度	kg/m ³
Q_{fo}	标准条件下燃料的摩尔热值	kJ/mol
Q_0	燃料在液态时的热值	kJ/kg
Q_{mj}	在标准温度 t_o 时组分 j 的热值	kJ/mol
S_{HR}	温度在 t_{HR1} 和 t_{HR2} 之间时热回收流体的比热	kJ K ⁻¹ kg ⁻¹
Q_{HR}	试验期间平均回收的热功率	kJ/s
E_{fv}	单位体积燃料的能量输入	kJ/m ³
E_{fm}	单位质量燃料的能量输入	kJ/kg
Q_{mf}	平均燃料功率输入	kJ/s
E_{in}	总燃料能量输入	kJ
$E_{instartuptbat}$	含有蓄电池的系统启动时所需的燃料能量输入	kJ
W_{out}	试验期间的电能输出	kWh
W_{in}	试验期间的电能输入	kWh
$W_{inshutdowm}$	关机时的电能输入	kWh
$W_{instartup}$	启动时的电能输入	kWh
$W_{instartuptbat}$	从启动初始时间 TS_i 到蓄电池再充电完成时间 TS_{bat} 期间系统所需的电能	kWh

表 1 (续)

符号	定义	单位
W_{input}	从启动初始时间 TS_1 到蓄电池再充电完成时间 TS_{bat} 期间的电能输入	kWh
W_{output}	从启动初始时间 TS_1 到蓄电池再充电完成时间 TS_{bat} 期间的电能输出	kWh
W_{system}	试验初始到结束期间的电能输入	kWh
η_e	电效率	%
η_{th}	热回收效率	%
η_{total}	总能量效率	%
ΔT	试验持续时长	s
ΔTE	关机时长	s
TE_1	关机初始时间点	
TE_2	关机完成时间点	
ΔT_{down}	电功率输出下降持续的时间 T_{1c1} 到 T_{1c2}	s
ΔT_{up}	电功率输出上升持续的时间 T_{1u1} 到 T_{1u2}	s
T_{1c1}	电功率输出下降操作的起始时间点	
T_{1c2}	电功率输出降至最小电功率($\pm 2\%$)输出的时间	
T_{1u1}	电功率输出上升操作的起始时间点	
T_{1u2}	电功率输出升至额定电功率($\pm 2\%$)输出的时间	
ΔTS	启动时长	s
TS_1	启动初始时间点	
TS_2	启动完成时间点	
TS_{bat}	蓄电池再充电完成时间点	s
ΔTS_{bat}	从启动初始到蓄电池再充电完成的时间间隔	s

注：燃料电池发电系统中的主要符号与图 1 相对应。

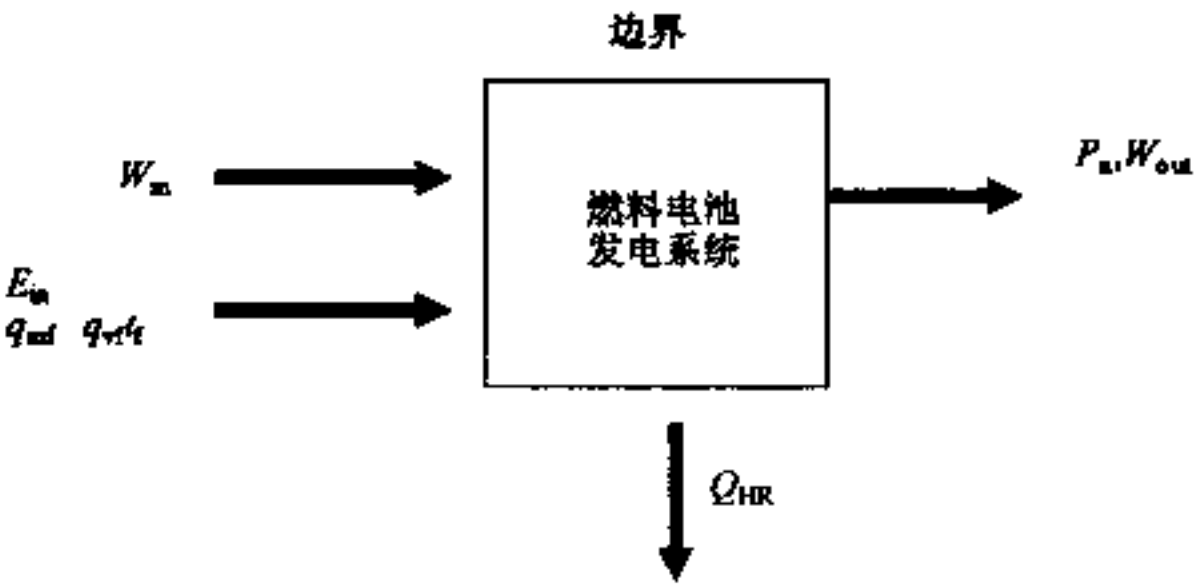


图 1 符号图

表 2 环境性能的符号及其含义

符号	定义	单位
X_c	组分的修正浓度	vol%, mL/m ³ (ppm)
X_m	组分的测量浓度	vol%, mL/m ³ (ppm)
O_{2i}	干燥状态下空气进口处大气里氧气(O ₂)浓度的测量值(对于新鲜空气, $O_{2i}=21\%$)	vol%
O_{2e}	干燥的排放尾气中氧气(O ₂)浓度的测量值	vol%
v_0	标准条件下的燃料体积流速	m ³ /s
V_t	试验条件下的燃料体积流速	m ³ /s
t_0	标准温度(288.15 K)	K
T_t	试验条件下的燃料温度	K
p_0	标准压力[101.325 kPa(绝对)]	kPa(绝对)
p_t	试验条件下的燃料压力(绝对压力)	kPa(绝对)
q_t	燃料质量流速	g/h
M_0	理想气体的标准摩尔体积 (2.364 5×10 ⁻² m ³ /mol) (在该标准的标准温度下, $t_0=288.15$ K)	m ³ /mol
M_{mf}	燃料的摩尔质量	g/mol
CH_d	燃料组分的相对分子量	
α_t	燃料的氢碳原子比	
CO_{2dr}	干燥的排放尾气中二氧化碳(CO ₂)的体积浓度	vol%
CO_{2M}	44.01 (CO ₂ 的相对分子量)	
CO_{2mass}	二氧化碳(CO ₂)质量排放率	g/h
CO_{dr}	干燥的排放尾气中一氧化碳(CO)的体积浓度	mL/m ³ (ppm)
CO_M	28.01 (CO 的相对分子量)	
CO_{mass}	一氧化碳(CO)质量排放率	g/h
CO_{conc}	干燥的排放废气中一氧化碳(CO)的质量浓度	g/m ³
THC_{dr}	干燥的排放尾气中总碳氢化合物(THC)的体积浓度(碳当量)	mL/m ³ (ppm)
THC_M	总碳氢化合物(THC)组分的相对分子量	
α_e	排放尾气中总碳氢化合物(THC)的氢碳原子比	
THC_{mass}	总碳氢化合物(THC)质量排放率	g/h
THC_{conc}	干燥的排放尾气中总碳氢化合物(THC)的质量浓度	g/m ³
NO_{xdr}	干燥的排放尾气中氮氧化物(NO _x)的体积浓度	mL/m ³ (ppm)
NO_{xM}	46.61 [假设所有的氮氧化物都为二氧化氮(NO ₂)时氮氧化物(NO _x)的相对分子量]	
NO_{xmass}	氮氧化物(NO _x)质量排放率	g/h
NO_{xconc}	干燥的排放尾气中氮氧化物(NO _x)的质量浓度	g/m ³
SO_{2dr}	干燥的排放尾气中二氧化硫(SO ₂)的体积浓度	mL/m ³ (ppm)

表 2 (续)

符号	定义	单位
SO_{2M}	64.06 [二氧化硫(SO_2)的相对分子量]	
SO_{2max}	二氧化硫(SO_2)质量排放率	g/h
SO_{2conc}	干燥的排放尾气中二氧化硫(SO_2)的质量浓度	g/m ³

5 小型固定式燃料电池发电系统结构配置及试验边界

图 2 示意了本标准中的小型固定式燃料电池发电系统的通用结构框图,展示了试验边界及进出燃料电池系统的物理量。

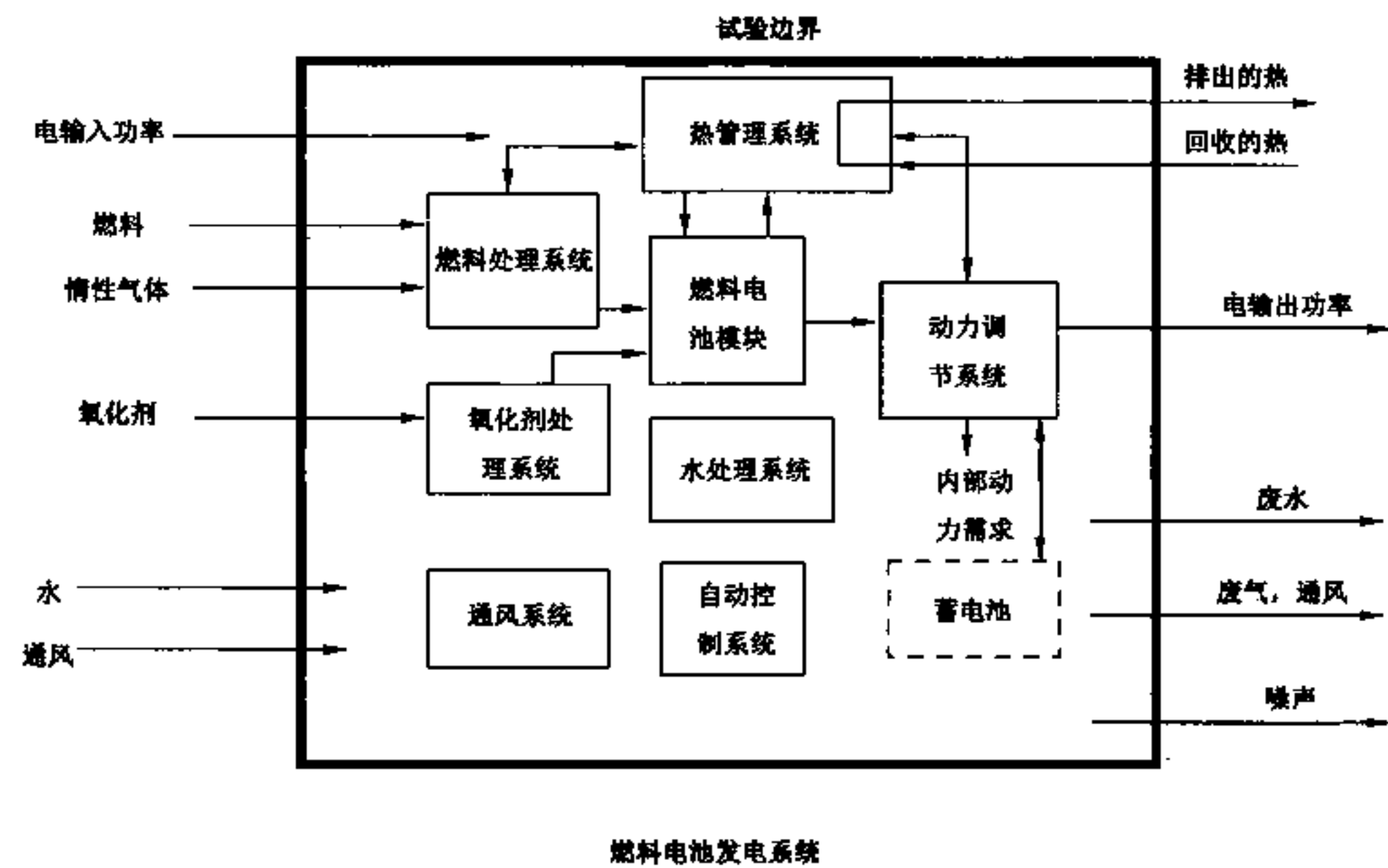


图 2 小型固定式燃料电池发电系统通用结构框图

6 标准条件

- 标准条件的具体内容如下：
- 标准温度： $t_0 = 288.15\text{ K}$ ($15\text{ }^\circ\text{C}$)；
 - 标准压力： $p_0 = 101.325\text{ kPa}$ (绝对)。

7 热值基础

原则上,燃料热值基于低热值(LHV)。

若低热值用于能量效率计算,无需加“LHV”符号,如下所示：

$$\eta_e, \eta_{th}, \eta_{total} = XX \%$$

若用高热值 (HHV),“HHV”这一缩写应加到能量效率值的后面,如下所示:

$$\eta_e, \eta_{th}, \eta_{total} = XX \%(HHV)$$

注:表 A.1 中已列出燃料热值的低热值(LHV)与高热值(HHV)。

8 试验准备

8.1 通则

本通则描述了试验实施之前应考虑的典型事项。对每个试验,应尽可能地选择高精度的仪器,并仔细做好试验规划,关注细节,以便将不确定度降到最小。详细的试验计划应由试验相关方以本标准 (IEC 62282-300-200)为基础做准备。应准备书面的试验计划。

试验计划应考虑下列事项:

- a) 目的;
- b) 试验规范;
- c) 试验操作人员的资质;
- d) 质量保证标准(ISO 9000 或其他等效标准);
- e) 目标不确定度;
- f) 选定测量仪器(参考第 10 章);
- g) 试验参数范围的估计;
- h) 数据采集计划。

8.2 不确定度分析

应对以下 3 个试验项目进行不确定度分析,以说明试验结果的可靠性以及满足客户的要求。对下述试验结果进行分析以判断绝对和相对不确定度。应制定试验计划以便于评估下述试验结果的可靠性。

- 电效率;
- 热回收效率;
- 总能量效率。

注:请同时参见 IEC 62282-3-200,2011 中的附录 A。

8.3 数据采集计划

为满足目标不确定度,需确定适当的数据采集时长和采集频率,且应在性能试验之前准备好相应的数据记录设备。

最好用个人电脑或类似设备自动采集数据。

9 试验装置

作为例子,图 3 展示了测试使用本标准所描述的气态燃料的小型固定式燃料电池发电系统的试验装置。一个电负载和一个热负载与燃料电池发电系统相连。图 3 测量了系统的电特性,图 4 测量了系统的热回收特性。一个把从燃料电池发电系统回收的热储存在热储存介质中的热储存单元,可作为热负载使用。

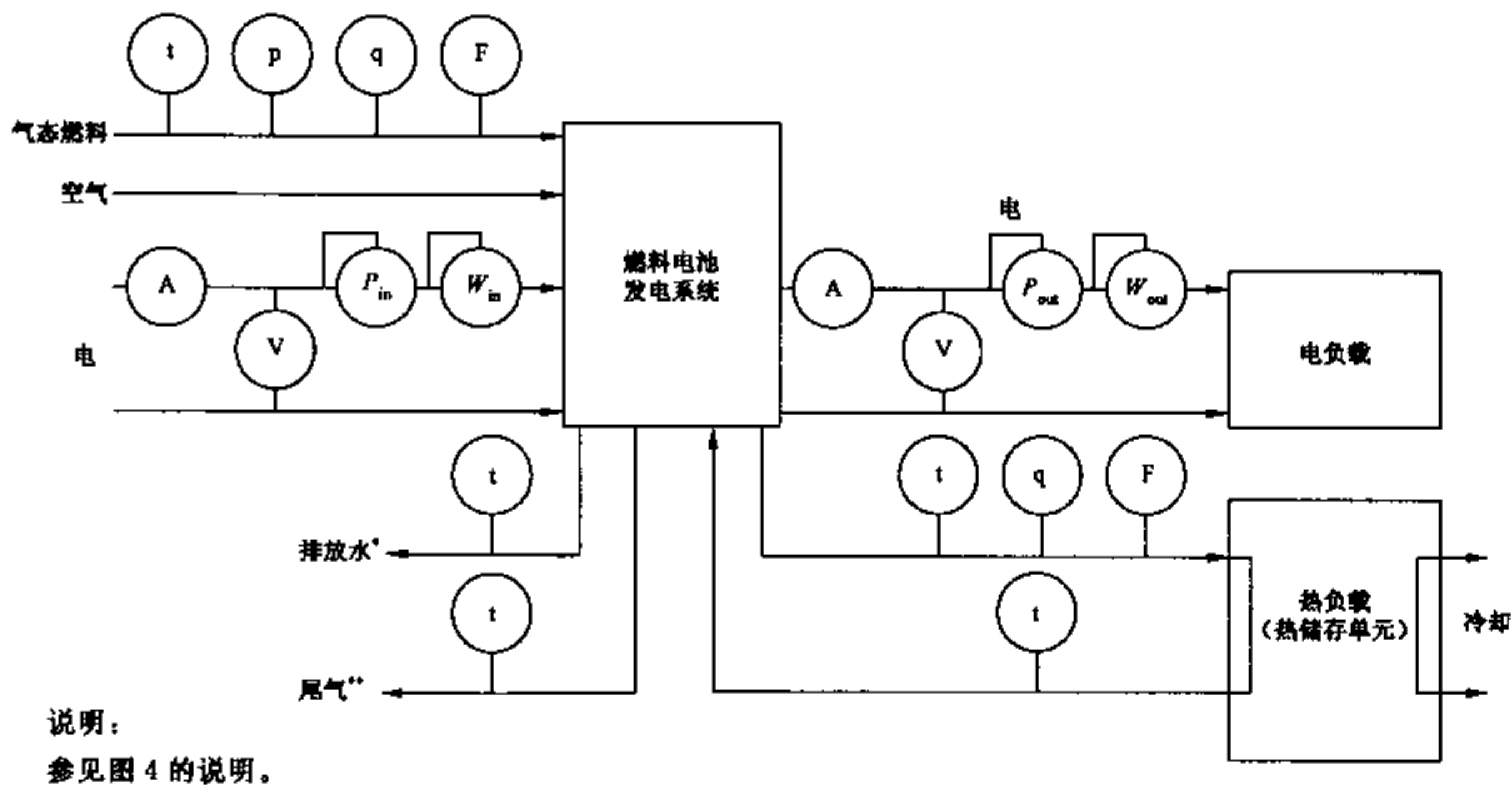
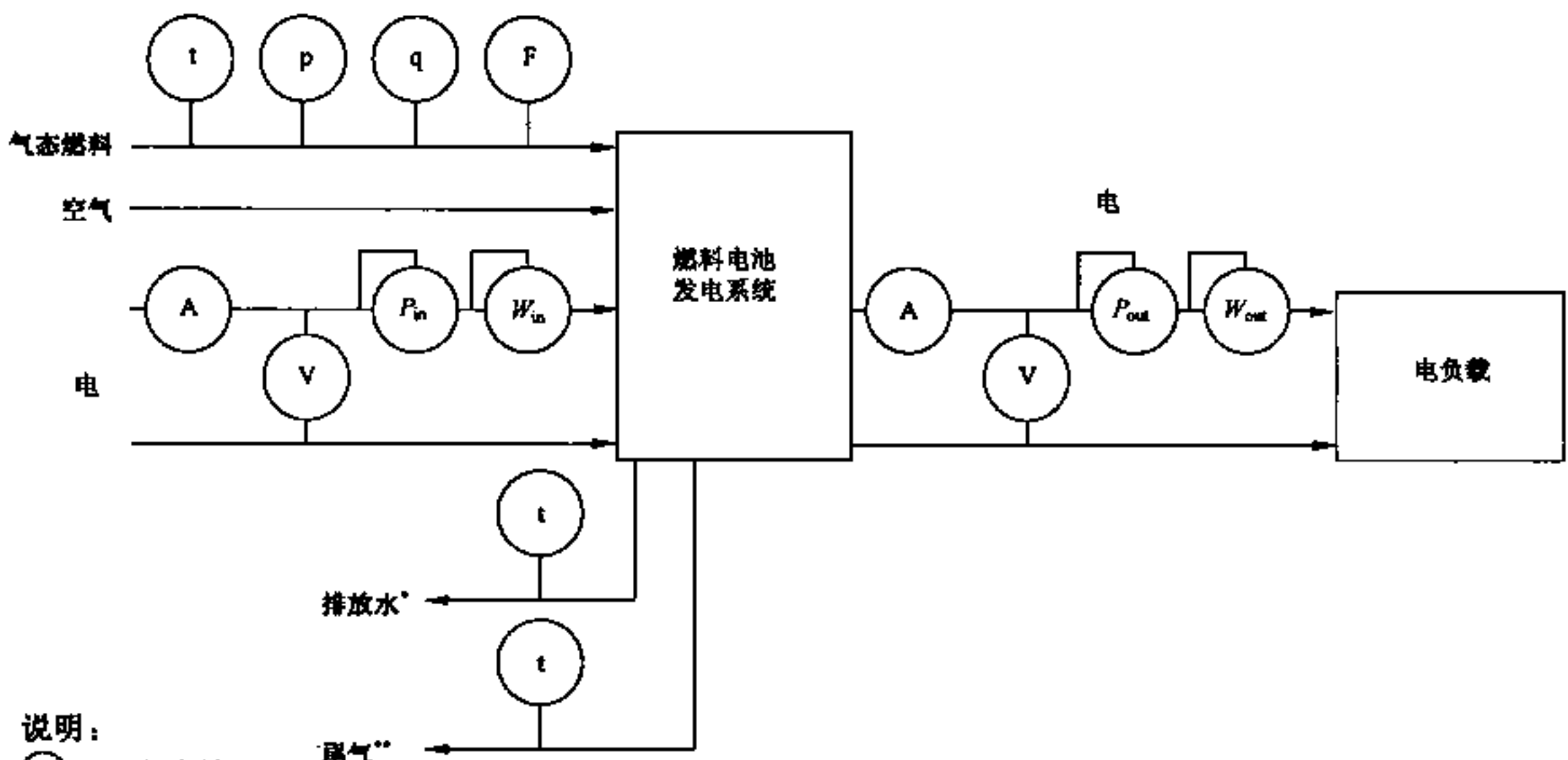


图3 使用气态燃料的小型固定式燃料电池发电系统



说明：

- Ⓐ——电流计；
- Ⓥ——电压计；
- Ⓣ——温度计；
- Ⓟ——压力计；
- Ⓠ——流量计；
- Ⓛ——累计流量表；
- Ⓟ——电功率表；
- Ⓦ——累计电功率表(电能表)。

- * 连接到用于测量体积(或重量)、pH值、生化需氧量、化学需氧量的采集装置；
- ** 连接到组分分析仪。

图4 使用气态燃料、空冷、不收集副产热的小型固定式燃料电池系统

10 测量仪器和测量方法

10.1 概述

测量仪器及测量方法应符合相关的国际标准。测量仪器的选择应符合制造商规定的量程范围与要求的测量精度。

10.2 测量仪器

按其预期用途,测量仪器列举如下:

- a) 测量电功率输出、电功率输入、电能输入与电能输出的仪器:
——电功率表、电能表、电压表、电流表;
- b) 测量燃料输入的仪器:
——流量计、累计流量计、称重计、压力传感器、温度传感器;
- c) 测量热能输出的仪器(仅限于收集副产热的情况):
——流量计、累计流量计、温度传感器;
- d) 测量环境条件的仪器:
——气压计、湿度计、温度传感器;
- e) 测量噪声等级的仪器:
——IEC 61672-1 中所规范的声压计,或等效或更精确的其他测量仪器;
测量仪器的设置如下:
——频率加权特性:A;
——时间加权特性:S;
——单位:分贝(dB)(对于特性 A 来说,“频率加权特性”可不必显示);
- f) 测量尾气组分浓度的仪器:
——氧气分析仪(例如:基于顺磁性、电化学或氧化锆的传感器);
——二氧化碳分析仪[例如:气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)或基于红外吸收的传感器];
——一氧化碳分析仪(例如:基于非分散红外或电化学传感器);
——氮氧化物分析仪(例如:基于非分散红外或电化学传感器);
——氧化硫分析仪[例如:傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)或基于电化学的传感器];
——总碳氢化合物分析仪[例如:火焰离子化检测器(FID)];
- g) 测定排放水的仪器:
——量筒(测量体积用)、温度传感器、酸度计、生化需氧量(BOD)探测器。

注: BOD 指生化需氧量, COD 指化学需氧量, THC 指总碳氢化合物。

10.3 测量点

不同参数的测量点描述如下:

- a) 气态燃料流速;

在燃料电池发电系统的燃料供应线路上放置一个流量计,以测量燃料流速。

- b) 累计气态燃料输入:

在燃料电池发电系统的燃料供应线路上放置一个累计流量计,以测量燃料的输入。累计流量计可与测量燃料流速的流量计联用。

- c) 液体燃料输入重量:

在燃料储罐下面放置一个称重计以测量燃料与储罐的总重量。试验前的重量减去试验后的重量即

为液体燃料输入重量。

d) 燃料温度:

在燃料流量计下游紧接着连接一个温度计。

e) 燃料压力:

在燃料流量计下游紧接着连接一个压力表以测量燃料的表压。

f) 电功率输出:

在燃料电池发电系统的电功率输出端且近系统边界处连接一个电功率表。

g) 电功率输入:

在燃料电池发电系统的电功率输入端且近系统边界处连接一个电功率表。

h) 电能输出:

在燃料电池发电系统的电功率输出端且近系统边界处连接一个电能表。电能表可与显示电功率输出的电功率表联用。

i) 电能输入:

在燃料电池发电系统的电功率输入端且近系统边界处连接一个电能表。电能表可与显示电功率输入的电功率表联用。

j) 燃料组分:

试验中所用的燃料应取样分析其组分。

k) 热回收流体流速(仅限收集副产热的情形):

在燃料电池发电系统与热负载之间的热回收流体循环线路(出路或回路)上且近系统边界处放置一个液体流量计。循环线路应隔热以便把热损失减到最小。

l) 热回收流体的累计流量(仅限收集副产热的情形):

在燃料电池发电系统与热负载之间的热回收流体循环线路(出路或回路)上且近系统边界处放置一个累计流量表。累计流量表可与显示热回收流体流速的流量计联用。

m) 出路上的热回收流体温度(仅限收集副产热的情形):

在热回收流体循环线路的出路上且近系统边界处放置一个温度计。

n) 回路上的热回收流体温度(仅限收集副产热的情形):

在热回收流体循环线路的回路上且近系统边界处放置一个温度计。

o) 热回收流体的成分(仅限收集副产热的情形):

从热回收系统中取热回收流体的样本,分析其成分,以计算其比热。如果用水作为热回收流体,成分分析可省略,比热为 $4.186 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ 。

p) 大气压:

在燃料电池发电系统附近、不被燃料电池发电系统的通风影响的地方放置一个绝对压力表。

q) 大气温度:

在燃料电池发电系统附近、不被燃料电池发电系统的空气进风或尾气影响的地方放置一个温度计。

r) 大气湿度:

在燃料电池发电系统附近、不被燃料电池发电系统的空气进风或尾气影响的地方放置一个湿度计。

s) 噪声等级:

参见 15.2.2.2。

t) 尾气:

在尾气出口的尾气气流中放置一个或多个尾气采集探针和一个温度传感器。

见图 3。

u) 排放水:

在排放水出口放置一个排放水储罐和一个温度传感器。

10.4 测量系统不确定度的最低要求

选择试验设备时,对于总效率及热效率而言,测量系统的不确定度应低于 3%,对于电效率而言,应低于 2%。

为了达到要求的效率不确定度,设备的系统测量不确定度推荐如下,以测量/计算值的百分比形式给出。

- 电功率: $\pm 1\%$;
- 电能: $\pm 1\%$;
- 气态燃料流速: $\pm 1\%$;
- 累计气体流量: $\pm 1\%$;
- 液体流速: $\pm 1\%$;
- 时间: $\pm 0.5\%$;
- 重量: $\pm 1\%$;
- 热回收流体温度: Δt : $\pm 2\%$, $\Delta t = t_{HR1} - t_{HR2}$;
- 相对湿度: $\pm 5\%$;
- 绝对压力: $\pm 1\%$;
- 燃料气和排放水温度: $\pm 1\text{ K}$;
- 尾气温度: $\pm 4\text{ K}$ 。

11 试验条件

11.1 实验室条件

除非另有说明,应在如下规定的环境中进行性能试验。

- 温度: $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 湿度: $65\% \pm 20\%$ 相对湿度;
- 气压: 在 91 kPa (绝对) 和 106 kPa (绝对) 之间。

在每一轮试验中都应测量实验室环境条件。因为空气质量可能会影响燃料电池发电系统性能,实验室空气组分(CO_2 、 CO 、 SO_2 等)应与试验结果一起报告。

11.2 系统的安装与运行条件

除非另有规定,燃料电池发电系统的安装和运行条件应为制造商所规定的条件(如说明书或以其他方式提供)。任何不会受这些条件影响的测试,无需遵循制造商规定的条件或其他给定条件。

11.3 电源条件

a) 不含蓄电池系统的条件:

除非另有规定,任何无蓄电池且使用居民供电的系统,应在标称电压和频率下进行测试。任何不被这些条件所影响的试验可以不按这一规定进行。

b) 使用蓄电池系统的条件:

含有蓄电池的系统可能配备确认蓄电池已达到标称充电状态、包括制造商规定的满充状态的方式方法(如:显示方法或输出信号)。

注:若没有这样一种指示,能量消耗及效率计算的结果的精确度将减少。参照 14.5.1。

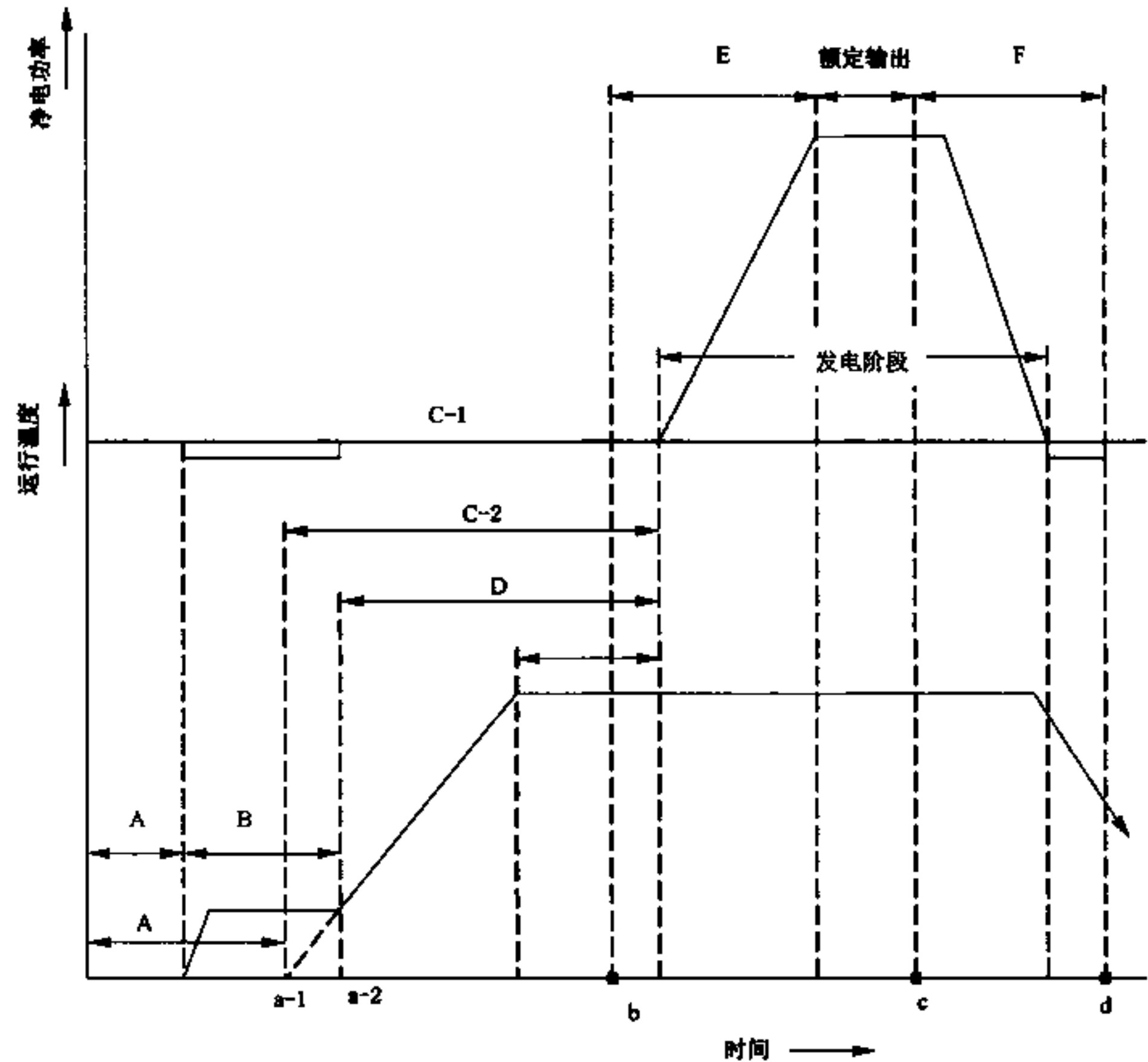
11.4 试验燃料

试验燃料应由燃料电池发电系统的制造商规定。天然气和丙烷气的典型组分分别列于附录 B 的

表 B.1 和表 B.2 中。燃料的组分应填写在报告中。

12 运行过程

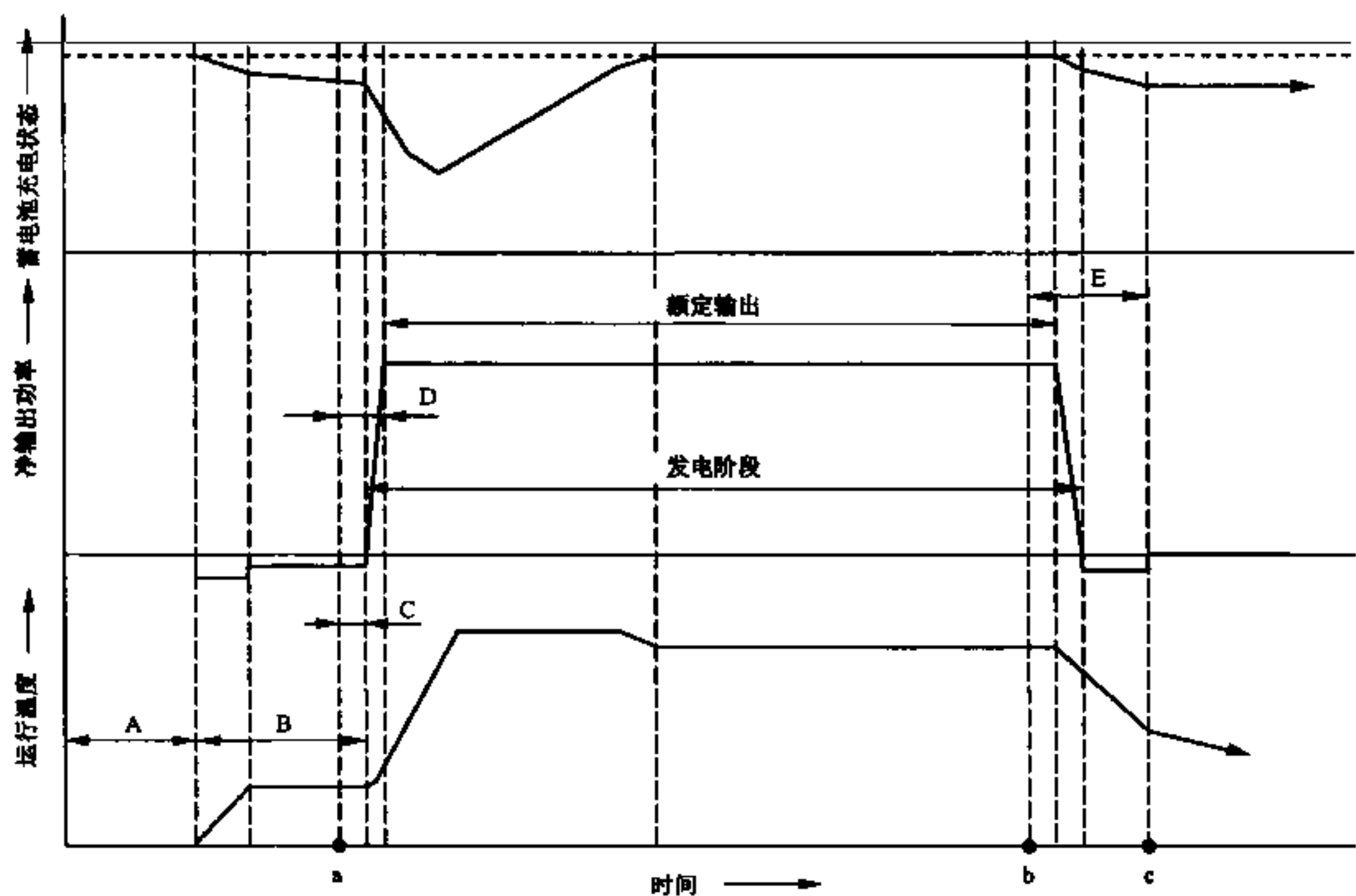
图 5 与图 6 分别展示了不含蓄电池和含有蓄电池的固定式燃料电池发电系统的典型运行状态。这些图展示了从启动、发电、到关机的运行状态的时序变化,并提供了与不同的运行状态相对应的术语的定义。



说明:

- A —— 冷态;
 - B —— 储存状态;
 - C-1 —— 无需外部能源维持储存状态的系统的启动时长,从冷态开始测量;
 - C-2 —— 需要外部能源维持储存状态的系统的启动时长,从储存状态开始测量;
 - D —— 待机状态;
 - E —— 达到额定电功率输出的时长;
 - F —— 关机时长;
 - b —— 输出操作的初始时间点;
 - c —— 关机操作的初始时间点;
 - d —— 关机操作的完成时间点(关机完成的条件由制造商给定);
- a-1 或 a-2 到 d 运行模式(从启动初始到关机完成)。

图 5 不含蓄电池的固定式燃料电池发电系统的运行状态



说明：

A——冷态；

B——储存状态；

C——启动时长；

D——达到额定电功率的时长；

E——关机时长；

a——输出操作(启动操作)初始时间点；

b——关机操作的初始时间点；

c——关机操作完成时间点(关机完成的条件由制造商给定)。

a~c 运行模式(从启动初始到关机完成)。

图 6 含有蓄电池的固定式燃料电池发电系统的运行状态

13 试验计划

以下条款所规定的型式试验部分可以同时进行。为了优化试验程序和型式试验规划,附录 C 中介绍了一个示范性试验操作时间表。

14 电/热性能的类型试验

14.1 概述

- 电/热性能的类型试验包括：
- 燃料消耗试验 (14.2)；
 - 电功率输出试验(14.3)；
 - 热回收试验(14.4)；

- 启动试验(14.5);
- 储存状态试验(14.6);
- 电功率输出变化试验(14.7);和
- 关机试验(14.8)。

燃料消耗试验(14.2),电功率输出试验(14.3),以及热回收试验(14.4)应同时进行。这三个试验的结果应用来计算效率(14.9),包括电效率(14.9.2),热回收效率(14.9.3)以及总能量效率(14.9.4)。

14.2 燃料消耗试验

14.2.1 气态燃料消耗试验

14.2.1.1 概述

此试验测量额定电功率输出下的气态燃料输入。如果制造商规定有在 50%、75% 部分负载及/或最小电功率输出下的运行,这些运行点也该测量。

此试验应与电功率输出试验(14.3)和热回收试验(14.4)同时进行。

14.2.1.2 试验方法

- a) 试验开始前,系统以额定电功率输出运行 30 min 以上。
- b) 对于含有蓄电池的系统,试验开始前,系统以额定电功率输出运行 30 min 以上,直至达到标称充电状态。
- c) 保持系统以额定电功率输出运行,开始试验。如果制造商有规定,在额定输出的 50%、75% 的部分负载下及/或最小输出下重复此试验。
- d) 测量燃料温度,燃料压力及累计燃料输入流量(体积或质量)。每次测量持续时间应不少于 3 h,采样时间间隔 60 s 或更短。如果燃料是间歇性供应的,数据采集的时长应为燃料供应间歇的 20 倍,或 3 h,以较长时间为准。

14.2.1.3 试验结果的计算

14.2.1.3.1 平均气态燃料输入流量的计算

平均气态燃料输入流量可表述为标准条件下的体积流速 q_{v0} ,单位为 m^3/s ,或质量流速 q_m ,单位为 kg/s 。应按以下步骤计算:

a) 体积流速

- 1) 试验条件下的燃料平均体积流速 q_v ,单位为 m^3/s ,计算方法应为:将试验持续期间的总体积流量除以试验持续时间。

$$q_v = q_{iv} / \Delta T \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- q_v ——试验条件下的燃料平均体积流速(m^3/s);
- q_{iv} ——试验持续期间的总体积流量(m^3);
- ΔT ——试验持续时长(s)。

- 2) 标准条件下的燃料平均体积流速 q_{v0} ,单位为 m^3/s ,应以下式计算,应采用试验持续期间获得的燃料温度及燃料压力的平均值。

$$q_{v0} = q_v \times (t_0/t_1) \times (p_1/p_0) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

q_{v0} ——标准条件下的燃料平均体积流速(m^3/s);

q_{v1} ——试验条件下的燃料平均体积流速(m^3/s);

t_0 ——标准温度(288.15 K);

p_0 ——标准压力[101.325 kPa(绝对)];

t_1 ——试验持续期间的平均燃料温度(K);

p_1 ——试验持续期间的平均燃料压力[kPa(绝对)]。

注:压力为绝对压力。

b) 质量流速

试验条件下的燃料平均质量流速 q_{m1} , 单位为 kg/s , 应用试验持续期间的累计质量流量除以试验持续时间来获得。

$$q_{m1} = q_{im1} / \Delta T \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

q_{m1} ——试验条件下的燃料平均质量流速(kg/s);

q_{im1} ——试验持续期间的燃料累计质量流量(kg);

ΔT ——试验持续时长。

14.2.1.3.2 气态燃料平均输入功率计算

气态燃料平均输入功率 Q_{in} , 单位为 kJ/s , 应按照如下体积流速或质量流速步骤计算。应使用试验持续期间所得的燃料温度与燃料压力的平均值。

a) 体积流速

1) 标准条件下, 单位体积的燃料能量 E_v , 单位为 kJ/m^3 , 应按下式计算:

$$E_v = Q_v / M_0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

E_v ——单位体积燃料的能量输入(kJ/m^3);

Q_v ——基于标准条件下的燃料摩尔热值(kJ/mol);

M_0 ——理想气体的标准摩尔体积($2.364\ 5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$)(在该标准的标准温度下, $t_0 = 288.15 \text{ K}$)(m^3/mol)。

式中:

燃料热值 Q_v , 单位为 kJ/mol , 在标准条件下应按下式计算:

$$Q_v = \sum_{j=1}^N x_j Q_{vj} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q_{vj} ——标准温度 t_0 下组分 j 的热值(kJ/mol);

x_j ——组分 j 的摩尔比;

j ——燃料的一种组分;

N ——气体燃料成分的数量。

注1: Q_{vj} 的数值已在 ISO 6974、ISO 6975 及表 A.1 中列出。

注2: 通常, 燃料耗能与热值以低热值为基准(LHV)。如果标注中展示的是高热值(HHV), 则在测量中使用 HHV。

2) 燃料平均输入功率 Q_{in} , 单位为 kJ/s , 应按下式计算:

$$Q_{in} = q_{v0} \times E_v \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

Q_{in} ——燃料平均输入功率(kJ/s);

q_{v0} ——标准条件下燃料的平均体积流量(m^3/s);

E_{iv} ——单位体积燃料的能量输入(kJ/ m^3)。

注3: 气态燃料的比热焓与压力能,在 IEC 62282-3-200 里的燃料耗能计算中予以了考虑,但在上述的燃料耗能计算中没有考虑,因为对于在低温与低压状态下运行的小型燃料电池发电系统而言,这些因素可以忽略。

b) 质量流速

1) 单位质量燃料的能量输入 E_{im} ,单位为 kJ/kg,应按下式计算:

$$E_{im} = Q_0 / M_{mf} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

E_{im} ——单位质量燃料的能量输入(kJ/kg);

Q_0 ——在标准条件下燃料的热值(kJ/mol);

M_{mf} ——燃料的摩尔质量(g/mol),根据 ASTM F2602 中具体方法测量。

注: Q_0 的计算参见 14.2.1.3.2.中的“a) 体积流速”里的描述。

2) 燃料平均输入功率 Q_{in} ,单位为 kJ/s,应按下式计算:

$$Q_{in} = q_{mf} \times E_{im} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

Q_{in} ——燃料平均输入功率(kJ/s);

E_{im} ——单位质量燃料的能量输入(kJ/kg);

q_{mf} ——燃料的平均质量流速(kg/s)。

14.2.2 液体燃料消耗试验

14.2.2.1 概述

此试验测量额定电功率输出下的液体燃料输入。如果制造商有在额定功率输出的 50%、75%的部分负载及/或最小功率电输出下运行的规定,在这些运行点下也应测量。

此试验应与电功率输出试验(14.3)和热回收试验(14.4)同时进行。

14.2.2.2 试验方法

- 试验开始前,系统以额定电输出功率运行 30 min 以上。
- 对于含有蓄电池的系统,试验开始前,系统以额定电功率输出运行 30 min 以上,直至达到已知的标称充电状态。
- 保持系统在额定电输出功率运行下开始试验。如果制造商有规定,在额定输出的 50%、75%的部分负载下及/或最小输出下重复此试验。
- 试验之初,测量燃料储罐的质量,或测量含燃料储罐在内的整个系统的质量。
- 试验持续至少 3 h。如果燃料是间歇性供应的,总试验时长应为燃料供应间歇的 20 倍,或 3 h,以较长时间为准。
- 试验结束时,测量燃料储罐的质量,或测量含燃料储罐在内的整个系统的质量。

14.2.2.3 平均液体燃料输入功率计算

试验持续期间总液体燃料的能量输入 E_m ,单位为 kJ,应按下式计算:

$$E_{in} = (A - B) \times Q_n \dots\dots\dots (9)$$

式中：
 E_{in} ——总燃料能量输入(kJ)；
 A ——试验开始时的质量(kg)；
 B ——试验结束时的质量(kg)；
 Q_n ——燃料的热值(kJ/kg)。

平均燃料输入功率 Q_{inf} ，单位为 kJ/s，应按下式计算：

$$Q_{inf} = \frac{E_{in}}{\Delta T} \dots\dots\dots (10)$$

式中：
 Q_{inf} ——平均燃料输入功率(kJ/s)；
 E_{in} ——总燃料能量输入(kJ)；
 ΔT ——试验持续时长(s)。

注 1：通常，燃料能量输入与热值以低热值为基准(LHV)。如果标注中显示的是高热值(HHV)，则在测量中使用高热值(HHV)。
注 2：热值按照 ASTM D4809-09 中具体方法测量。

14.3 电功率输出试验

14.3.1 概述

此试验测量额定电功率输出下的平均净电输出。如果制造商有在 50%、75%的部分负载及/或最小功率电输出下运行的规定，在这些运行点下也应测量。
此试验应与燃料消耗试验(14.2)和热回收试验(14.4)同时进行。

14.3.2 试验方法

- a) 试验开始前，系统以额定电输出功率运行 30 min 以上。
- b) 对于含有蓄电池的系统，试验开始前，系统以额定电输出功率运行 30 min 以上，直至达到已知的标称充电状态。
- c) 保持系统在额定电输出功率运行下开始试验。如果制造商有规定，在额定输出的 50%、75%的部分负载下及/或最小输出下重复此试验。
- d) 在试验期间，测量电能输出与电能输入。试验应持续至少 3 h。如果燃料是间歇性供应的，总的试验时长应为燃料供应间歇的 20 倍，或 3 h，以较长时间为准。

14.3.3 平均净电功率输出计算

平均净电功率输出应按下式计算：

$$P_n = \frac{W_{out} - W_{in}}{\Delta T} \dots\dots\dots (11)$$

式中：
 P_n ——平均净电功率输出(kW)；
 W_{out} ——试验期间的电能输出(kWh)；
 W_{in} ——试验期间的电能输入(kWh)；
 ΔT ——试验持续时长(s)。

14.4 热回收试验

14.4.1 概述

此试验测量额定电功率输出下平均回收的热功率输出。如果制造商有在 50%、75% 的部分负载及/或最小功率电输出下运行的规定,在这些运行点下也应测量。

此试验应与燃料消耗试验(14.2)和电功率输出试验(14.3)同时进行。

对于不收集副产热的系统,可省略热回收试验。

14.4.2 试验方法

- 试验开始前,系统以额定电输出功率运行 30 min 以上。
- 对于含有蓄电池的系统,试验开始前,系统以额定电功率输出运行 30 min 以上,直至达到已知的标称充电状态。
- 设置回流流体的温度于适合废热利用的水平。在整个试验中,控制进入热负载的冷却流体的量以维持该条件。
- 保持系统在额定电输出功率运行下开始试验。如果制造商有规定,在额定输出的 50%、75% 的部分负载下及/或最小输出下重复此试验。
- 测量在出口处流出的热回收流体的温度、在进口处流回的热回收流体的温度和进口或出口处的累计流体体积或质量。每次测量持续时间应不少于 3 h,采样时间间隔 60 s 或更短。如果燃料是间歇性供应,数据采集时长应为燃料供应间歇时间的 20 倍,或 3 h,以较长时间为准。流出热回收流体的温度,流回的热回收流体的温度,以及二者间的温度差应填写在报告中。

14.4.3 平均回收热功率计算

平均回收热功率,单位为 kJ/s,应按以下步骤计算:

a) 体积测量

- 热回收流体的平均体积流速 q_v ,单位为 m^3/s ,应用累计流体体积除以试验持续时长来计算。

$$q_v = q_{v\text{HR}} / \Delta T \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

q_v ——热回收流体的平均体积流速(m^3/s);

$q_{v\text{HR}}$ ——热回收流体的累计流动体积(m^3);

ΔT ——试验持续时长(s)。

- 平均回收热功率 Q_{HR} ,单位为 kJ/s,应按下式计算。应用试验期间的回收流体温度的平均值。

$$Q_{\text{HR}} = (t_{\text{HR1}} - t_{\text{HR2}}) \times q_v \times \rho_{\text{HR}} \times S_{\text{HR}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

Q_{HR} ——试验期间的平均回收热功率(kJ/s);

t_{HR1} ——试验期间出口的热回收流体的平均温度(K);

t_{HR2} ——试验期间进口的热回收流体的平均温度(K);

q_v ——试验期间出口的热回收流体的平均体积流速(m^3/s);

ρ_{HR} ——在温度 t_{HR1} 时热回收流体的密度(kg/m^3);

S_{HR} ——热回收流体在温度 t_{HR1} 与温度 t_{HR2} 中间值时的比热。如果热回收流体用的是水,

比热应采用 $4.186 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ 。

b) 质量测量

- 1) 平均质量流速 q_{mHR} , 单位为 kg/s , 应用累计质量流量除以试验持续时长。

$$q_{\text{mHR}} = q_{\text{imHR}} / \Delta T \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

q_{mHR} —— 平均质量流速 (kg/s);

q_{imHR} —— 累计质量流量 (kg);

ΔT —— 试验持续时长 (s)。

- 2) 试验期间的平均回收热功率 Q_{HR} , 单位为 kJ/s , 应按以下公式计算。应用试验持续期间回收流体温度的平均值。

$$Q_{\text{HR}} = (t_{\text{HR1}} - t_{\text{HR2}}) \times q_{\text{mHR}} \times S_{\text{HR}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

Q_{HR} —— 试验期间的平均回收热功率 (kJ/s);

t_{HR1} —— 试验期间出口的热回收流体的平均温度 (K);

t_{HR2} —— 试验期间进口的热回收流体的平均温度 (K);

q_{mHR} —— 试验期间出口的热回收流体的平均质量流速 (kg/s);

S_{HR} —— 热回收流体在温度 t_{HR1} 与温度 t_{HR2} 中间值时的比热。如果热回收流体用的是水, 比热应采用 $4.186 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ 。

14.5 启动试验

14.5.1 概述

此试验测量燃料电池发电系统启动时的启动时间、需要的燃料及/或电能。

对于含有蓄电池的系统, 如果系统没有装配确认蓄电池已达到已知标称充电状态的相关方式方法, 不强制进行测量启动燃料能耗的试验[参见 11.3 b)]。

14.5.2 蓄电池充电状态的测定

可用如下两种方法中任何一种测定蓄电池已达到已知标称充电状态的时间点:

- 对于有能确认蓄电池达到已知标称充电状态方式方法(例如: 显示方法或输出信号)的系统, 充电完毕时间点由此方式方法确定[参见 11.3 b)]。
- 对于没有能确认蓄电池已达到已知标称充电状态方式方法的系统, 达到标称充电状态(SOC)的充电完毕时间点是在因给蓄电池充电而燃料流速增加以后, 输入燃料流速开始稳定在额定燃料流速 $\pm 2\%$ 范围内的时间点(参见图 8)。此测量不是强制性的。

14.5.3 试验方法

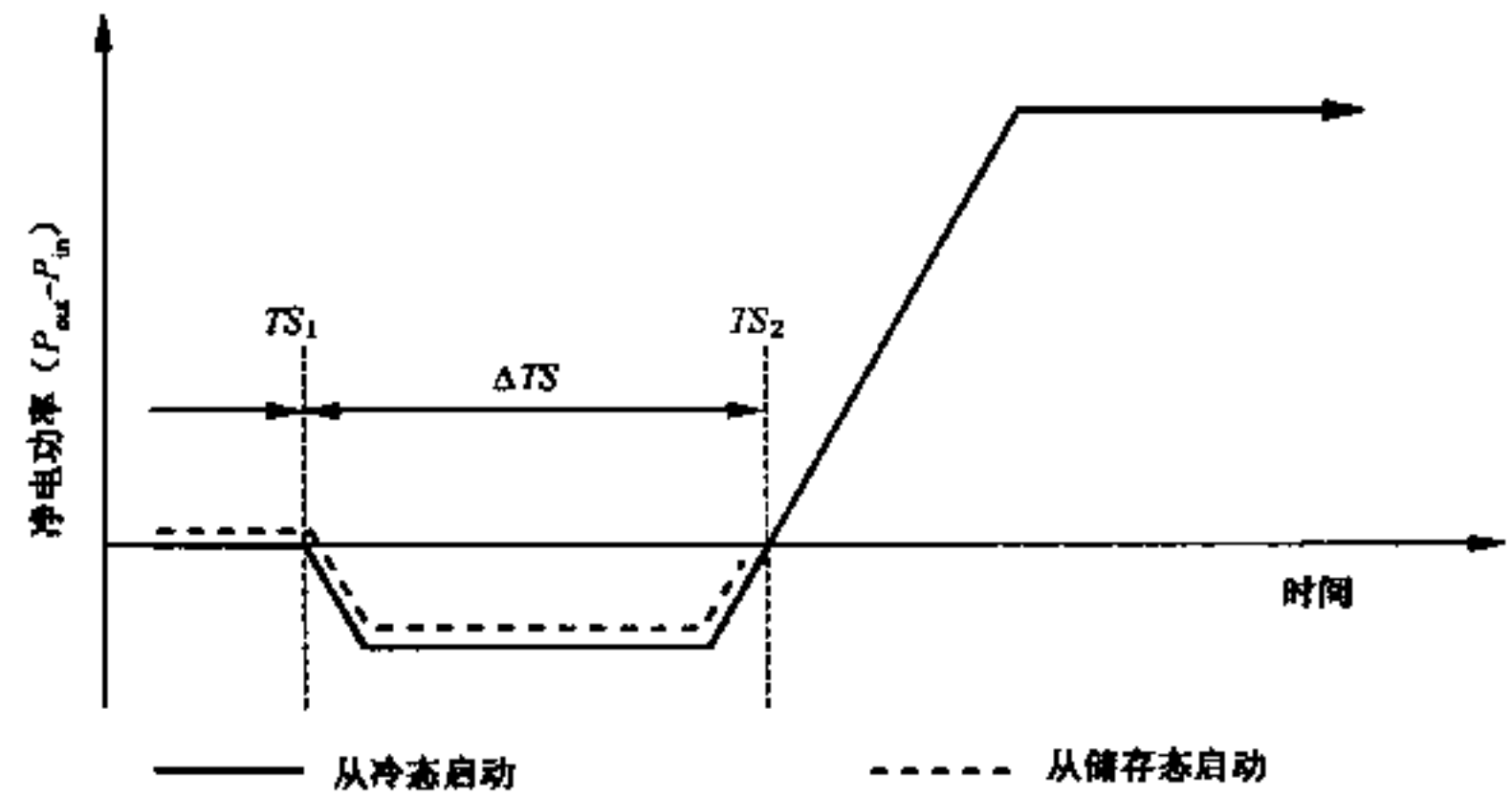
- 试验开始之前, 系统在冷态或储存状态下保持至少 48 h。
- 对于含有蓄电池的系统, 试验开始之前, 把蓄电池充电至已知标称充电状态, 然后系统在冷态或储存状态下保持至少 48 h。
- 开始试验。以 15 s 或更短的时间间隔, 测量电能输出、电能输入、累计燃料流量(液体燃料也可是质量)、燃料温度、燃料压力与大气压。
- 开始额定电功率输出的启动操作。记录启动操作开始的时间点。
- 对于不含蓄电池的系统, 记录启动操作完成的时间点。

f) 对于含有蓄电池的系统,记录启动操作完成的时间点和蓄电池再充电至已知标称充电状态的时间点。

注 1: 启动初始时间点是指按下启动按钮的时间点,或正常启动信号发出的时间点。

注 2: 启动完成时间点是指净电功率开始输出的时间点。

对于含有蓄电池的系统,可能需要像示波器这样的高速电压记录仪来测量启动时间,因为通常来说,启动时长极其短暂(毫秒级)。



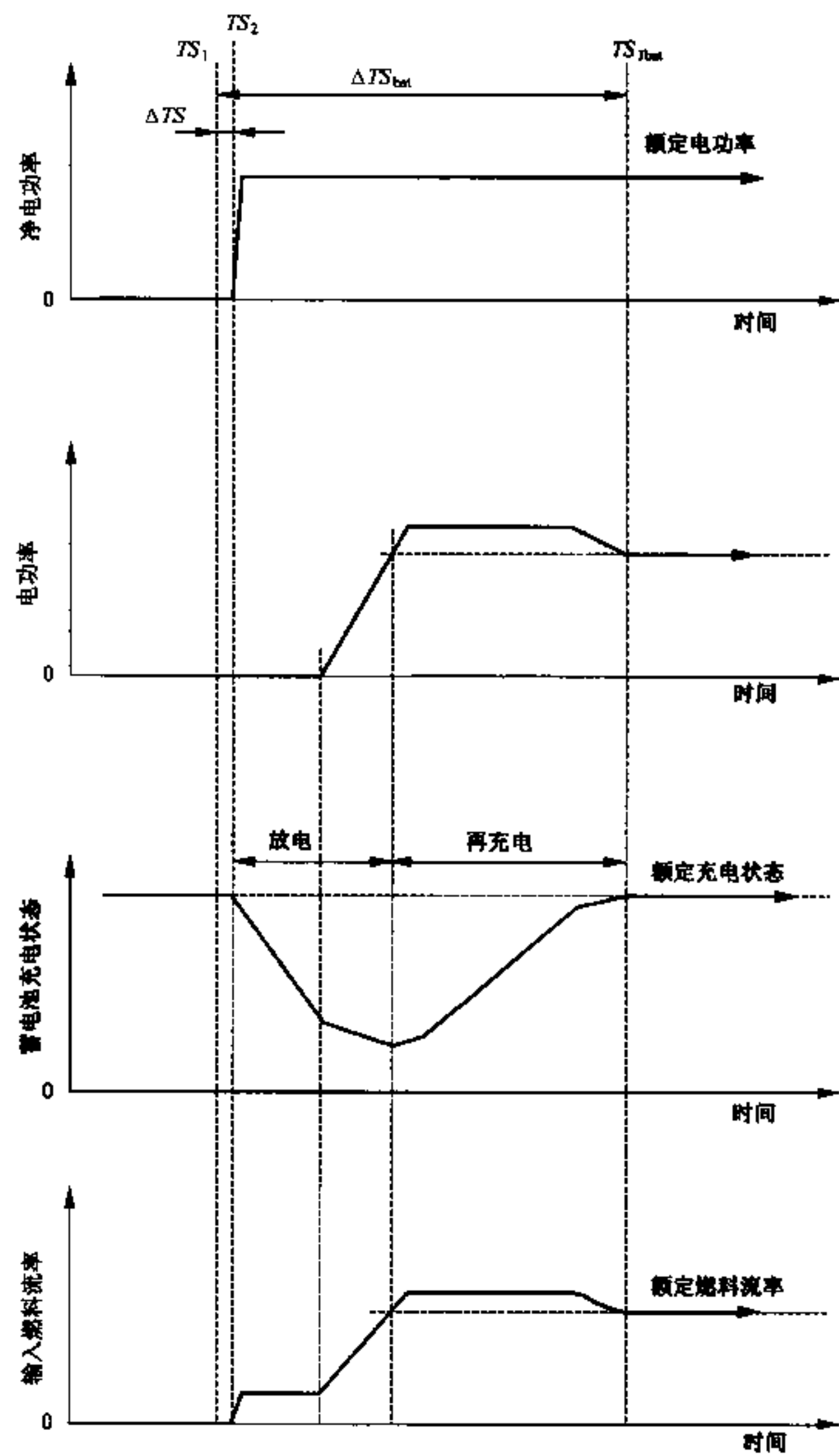
说明:

ΔTS —— 启动时间(s);

TS_1 —— 启动初始时间点;

TS_2 —— 启动完成时间点。

图 7 不含蓄电池系统启动时电功率图案例



说明：

TS_1 ——启动初始时间点；

TS_2 ——启动完成时间点；

TS_{3bat} ——蓄电池再充电完成时间点；

ΔTS ——启动时长(s)；

ΔTS_{bat} ——从启动初始点到蓄电池再充电完成点的持续时长。

图 8 含有蓄电池系统启动时电功率图案例

14.5.4 试验结果的计算

14.5.4.1 启动时间的计算

应以下式计算启动时间(参见图 7 与图 8):

$$\Delta TS = TS_2 - TS_1 \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

ΔTS ——启动时长(s);

TS_1 ——启动初始时间点;

TS_2 ——启动完成时间点。

14.5.4.2 启动能量的计算

14.5.4.2.1 启动所需燃料能量的计算

a) 对于不含蓄电池的系统

对于使用气态燃料且不含蓄电池的燃料电池系统,启动所需燃料能量应用启动期间测量到的累计燃料输入体积或质量、燃料温度与燃料压力来计算。计算过程与 14.2.1.3 里描述的体积流量、质量流量的计算相同,只是燃料消耗的体积或质量应用累计流量而非 14.2.1.3 里式(1)到式(8)中的平均流量。

如果在启动期间,非惰性吹扫气或含有化学能的稀释气体被输入系统内,吹扫气体应被视为额外燃料,所含能量应计入能量输入之中,运用 14.2.1.3 中的计算方法。

对于使用液体燃料且不含蓄电池的燃料电池系统,启动所需的燃料能量的计算应用启动初始时间测量的燃料储罐或整个系统的质量,与启动完成时测量的燃料储罐的质量或整个系统的质量。计算过程与 14.2.2.3 中描述的一样。

对于系统中含有燃料储存罐的情况,如图 9 中所示的例子,通过绕过燃料储存罐或把燃料储存罐安置于系统外来精确地测量消耗掉的燃料质量。

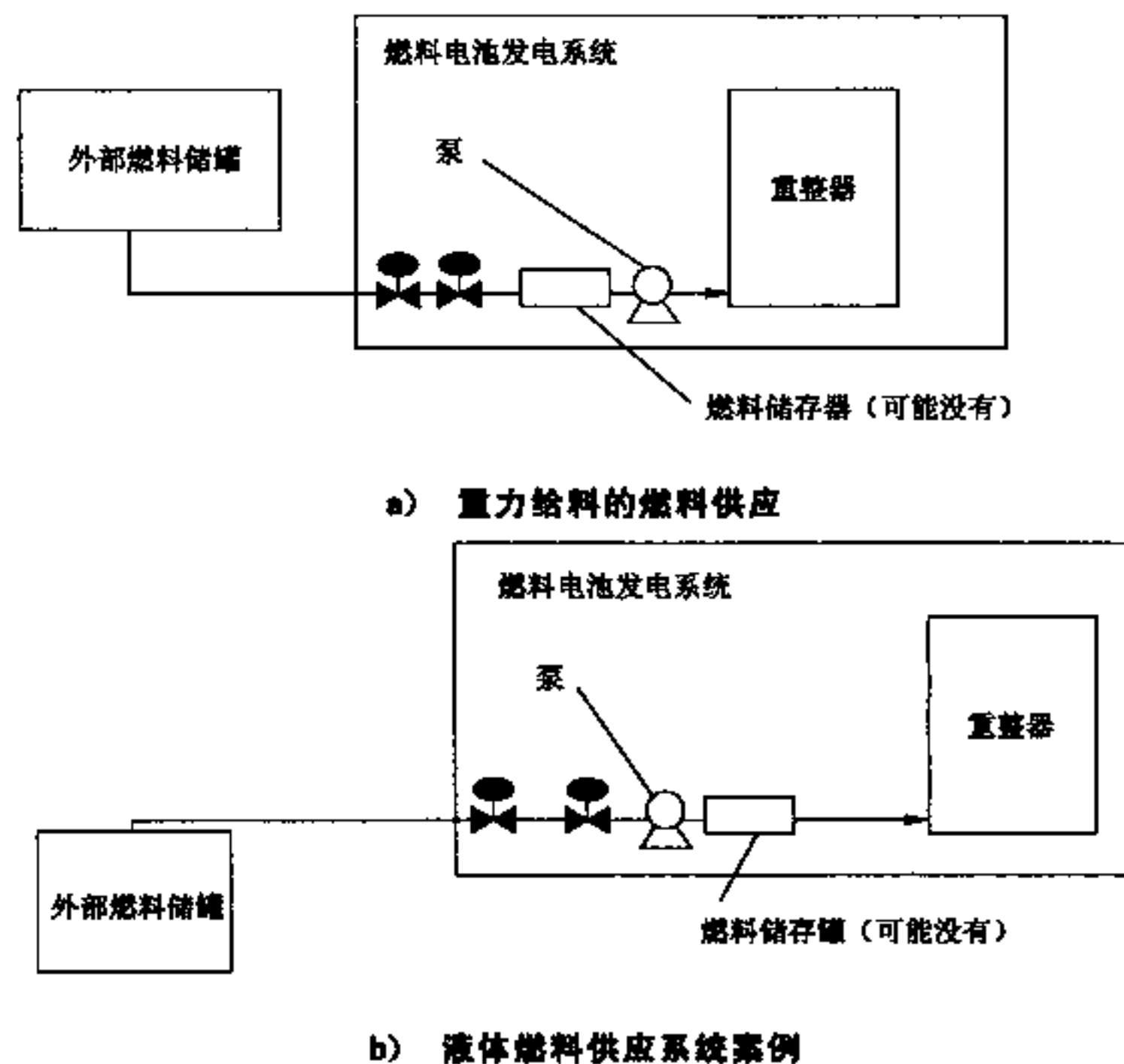


图 9 液体燃料供应

b) 含有蓄电池的系统

对于含有蓄电池的燃料电池系统(装配有充电状态指示器),启动时所需的燃料能量,即为蓄电池充电的燃料能量,应按下式计算:

$$E_{\text{instartupbat}} = E_{\text{in}} - 3\,600 \times W_{\text{outbat}} \times 100/\eta_e \dots\dots\dots(17)$$

式中:

- $E_{\text{instartupbat}}$ ——含有蓄电池的系统启动时所需的燃料能量(kJ);
- E_{in} ——从启动初始时间点 TS_1 到蓄电池再充电完成时间点 TS_{3bat} 时间段内的燃料能量输入(kJ);
- W_{outbat} ——从启动初始时间点 TS_1 到蓄电池再充电完成时间点 TS_{3bat} 时间段内的电能输出(kWh);
- η_e ——电效率(%) (参见 14.9.2)。

$3\,600 \times W_{\text{outbat}} \times 100/\eta_e$ 是生成 W_{outbat} 消耗的燃料能量(kJ)。对于使用液体燃料的系统,启动时输入的燃料能量 E_{in} 的计算应用启动初始时间点及蓄电池再充电完成时间点测量的燃料储罐或整个系统的质量。

注:未采用直接测量系统里蓄电池充电电路中流动的电能,因为本标准中的性能试验是通过进出燃料电池系统的物理量来实行。

14.5.4.2.2 启动所需电能的计算

a) 对于不含蓄电池的系统

不含蓄电池的系统在启动操作期间所需的电能应按下公式计算:

$$W_{\text{instartup}} = W_{\text{in}} - W_{\text{out}} \dots\dots\dots(18)$$

式中:

- $W_{\text{instartup}}$ ——不含蓄电池系统启动时所需的电能(kWh);
- W_{in} ——启动期间 ΔTS 的输入电能(kWh);
- W_{out} ——启动期间 ΔTS 的输出电能(kWh)。

b) 对于含有蓄电池的系统

含有蓄电池的系统在启动操作期间所需的电能应按下式计算:

$$W_{\text{instartupbat}} = W_{\text{inbat}} - W_{\text{outbat}} \dots\dots\dots(19)$$

式中:

- $W_{\text{instartupbat}}$ ——从启动初始时间点 TS_1 到蓄电池再充电完成时间点 TS_{3bat} 系统所需的电能(kWh);
- W_{inbat} ——从启动初始时间点 TS_1 到蓄电池再充电完成时间点 TS_{3bat} 的输入电能(kWh);
- W_{outbat} ——从启动初始时间点 TS_1 到蓄电池再充电完成时间 TS_{3bat} 的输出电能(kWh)。

14.6 储存状态试验

14.6.1 概述

此试验针对配有加热器或类似装置以保持催化剂性能及/或配有控制系统用以监控和保持储存状态条件的系统,测量其在储存状态下的电功率输入。

如果电能由集成在系统中的蓄电池提供,此电能忽略不计,因为其无法在系统外部测量。

14.6.2 试验方法

- a) 保持系统在储存状态。
- b) 测量电能输入和从试验初始到试验结束之间的持续时间。试验持续时间至少 3 h。

14.6.3 储存状态下的平均电功率输入的计算

储存状态下的平均电功率输入应按下式计算：

$$P_{\text{instore}} = \frac{W_{\text{instore}}}{\Delta T}$$

.....(20)

式中：

P_{instore} ——储存状态下的平均电功率输入(kW)；

W_{instore} ——从试验初始到试验结束的电能输入(kWh)；

ΔT ——从试验初始到试验结束的持续时间(s)。

14.7 电功率输出变化试验

14.7.1 概述

本试验是评价燃料电池发电系统电功率输出的可变性。电功率输出将在额定输出与最小输出之间变动。额定与最小电功率输出由制造商规定。

14.7.2 试验方法

a) 在试验开始前,系统在额定电功率输出下运行 30 min 以上。

对于含有蓄电池的系统,试验开始前,系统以额定电功率输出运行 30 min 以上,直至达到已知标称充电状态。

b) 开始试验,在额定电功率输出下连续运行系统 1 h 以上。

c) 以 1 s 或更短的时间间隔测量电功率输出,直至试验完成。

注 1: 对于含有蓄电池的系统,测量电功率的增长率时需用像示波器这样的高速电压记录器,因为通常来说该增长率极快(毫秒级)。

d) 设置电功率输出的目标变化值为最小电功率输出,开始降低电功率输出的操作,并记录此操作开始的时间。

e) 记录电功率输出达到最小电功率输出(浮动范围在额定功率输出的±2%)的时间。

f) 保持电功率输出在最小电功率输出下至少 1 h。

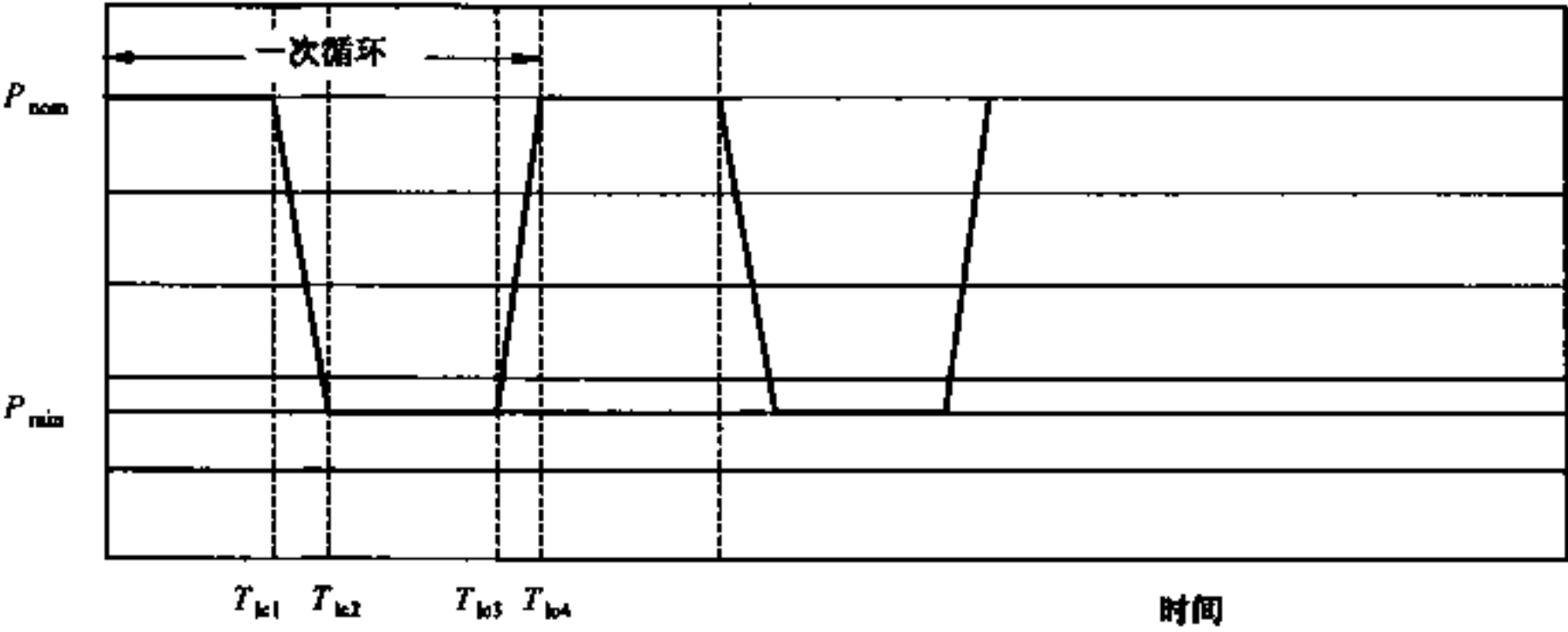
g) 设置电功率输出的目标变化值为额定电功率输出,开始提高电功率输出的操作,并记录此操作开始的时间。

h) 记录电功率输出达到额定电功率输出(浮动范围在额定功率输出的±2%)的时间。

i) 保持电功率输出在额定电功率输出至少 1 h。

j) 重复 d) 至 i),至少 3 个循环。

注 2: 此试验可能以增加电输出功率的操作开始。



说明:(图 10 与图 11)

P_{nom} ——额定电功率输出;

P_{min} ——最小电功率输出;

T_{k1} ——降低电功率输出操作开始的时间点;

T_{k2} ——电功率输出达到最小电功率输出的时间点(浮动范围在额定功率输出的 $\pm 2\%$)(参见图 12);

T_{k3} ——增加电功率输出操作开始的时间点;

T_{k4} ——电功率输出达到额定电功率输出(浮动范围在额定功率输出的 $\pm 2\%$)的时间点(参见图 12)。

图 10 不含蓄电池系统电功率输出变化模式

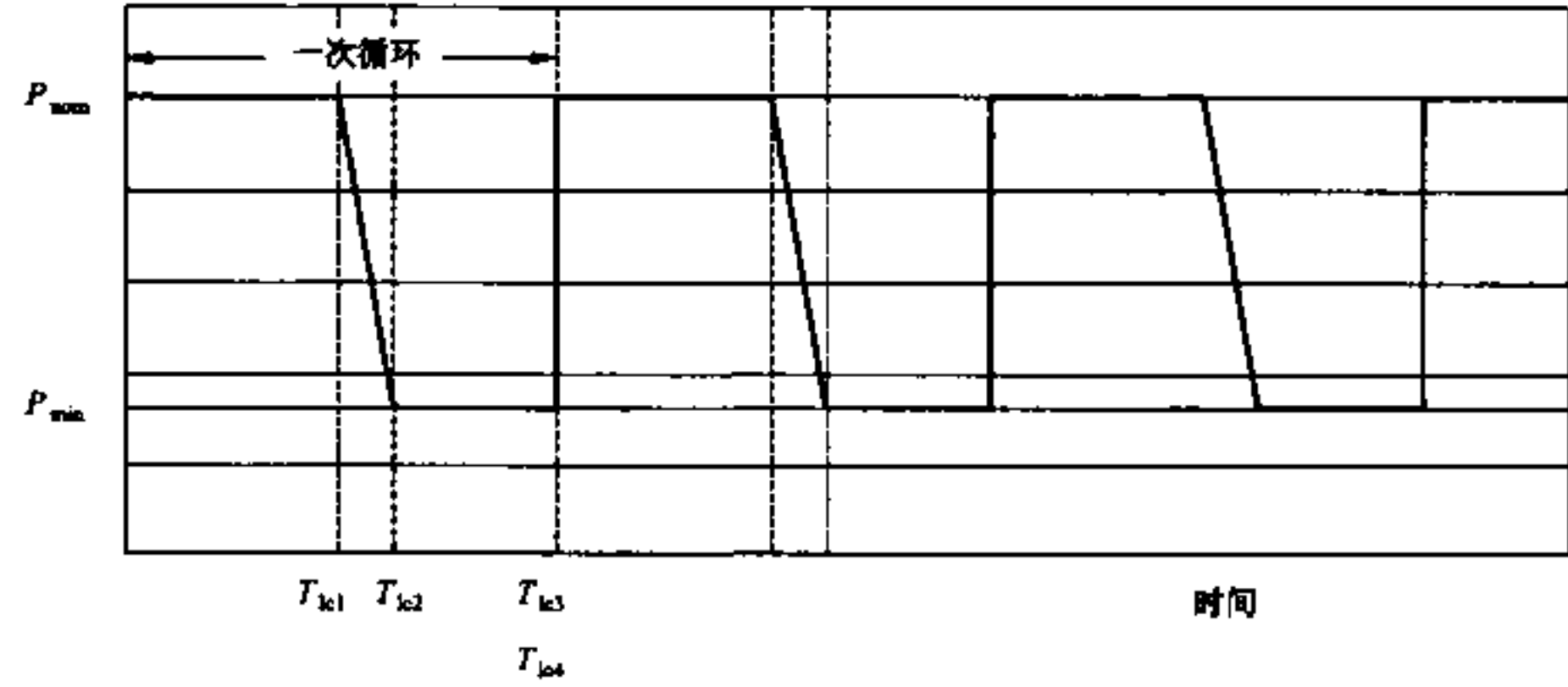


图 11 含有蓄电池系统电功率输出变化模式

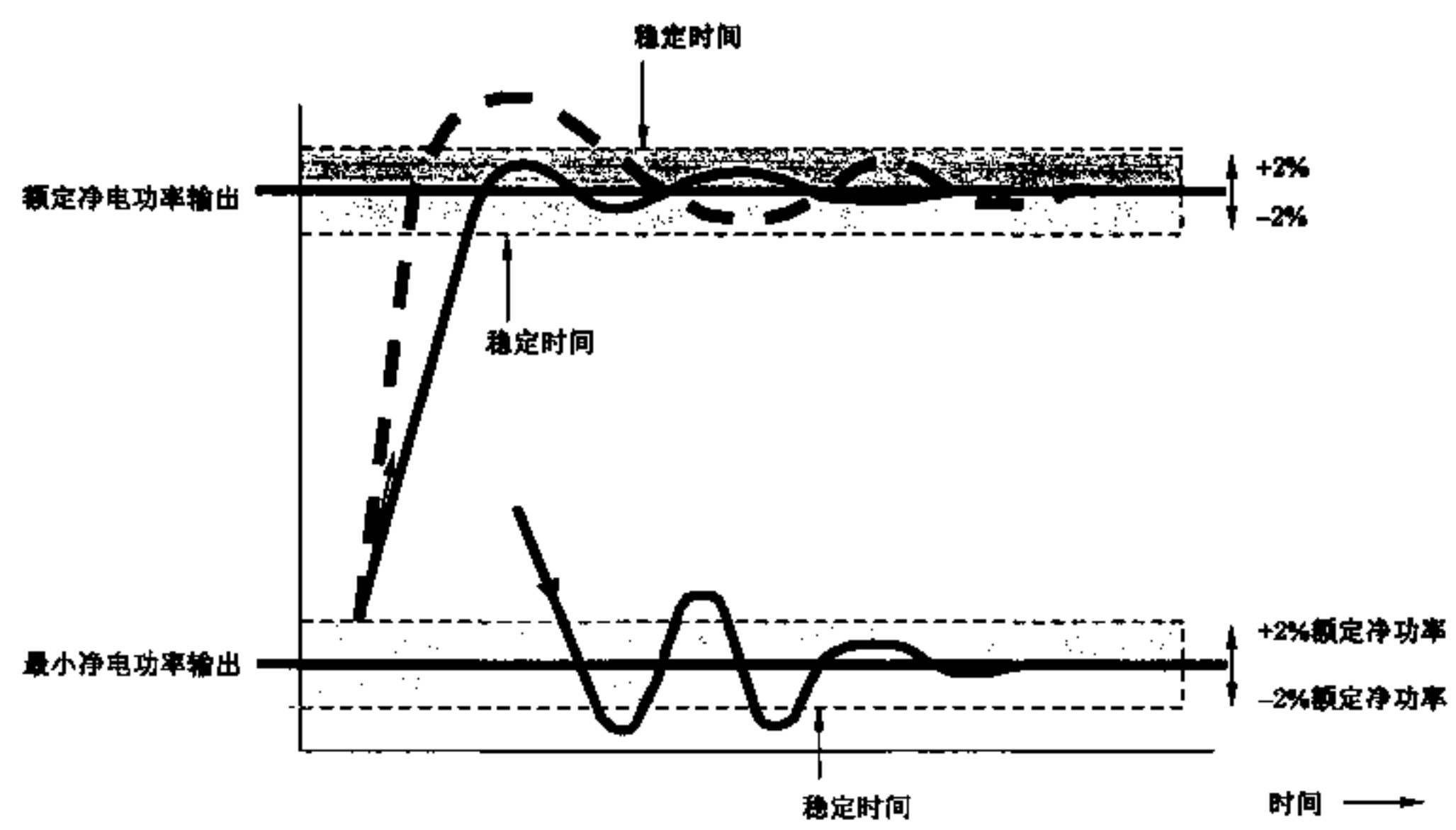


图 12 电功率变化稳定标准案例

14.7.3 电输出功率变化率的计算

电输出功率的下降率与增长率应按下式计算：

$PV_d = P_d / \Delta T_{\text{lodwn}}$ (21)

$PV_g = P_d / \Delta T_{\text{lcup}}$ (22)

式中：

- PV_d ——电功率输出的下降率(W/s)；
- PV_g ——电功率输出的增长率(W/s)；
- P_d ——额定电功率输出 P_{nom} 与最小电功率输出 P_{min} 之间的电功率输出变化范围(W)；
- ΔT_{lodwn} ——从时间点 T_{lc1} 到时间点 T_{lc2} 的电功率输出下降持续时间(s)；
- ΔT_{lcup} ——从时间点 T_{lc3} 到时间点 T_{lc4} 的电功率输出上升持续时间(s)。

电输出功率的下降率与增长率应取 3 个循环的平均值。

14.8 关机试验

14.8.1 概述

此试验测量关机时间及燃料电池发电系统关机所需的燃料及/或电能。

不论系统是否含有蓄电池,关机时间的定义一样。关机时间的定义为:从额定电功率输出转换至储存状态所需的持续时长。

不论系统是否含有蓄电池,关机能耗的定义一样。关机能耗是指在关机时间内,从系统外部为关机所提供的能量。集成在系统中的蓄电池提供的关机电能被忽略不计,因为通常无法在系统外部对其进行测量(参见图 2)。

14.8.2 试验方法

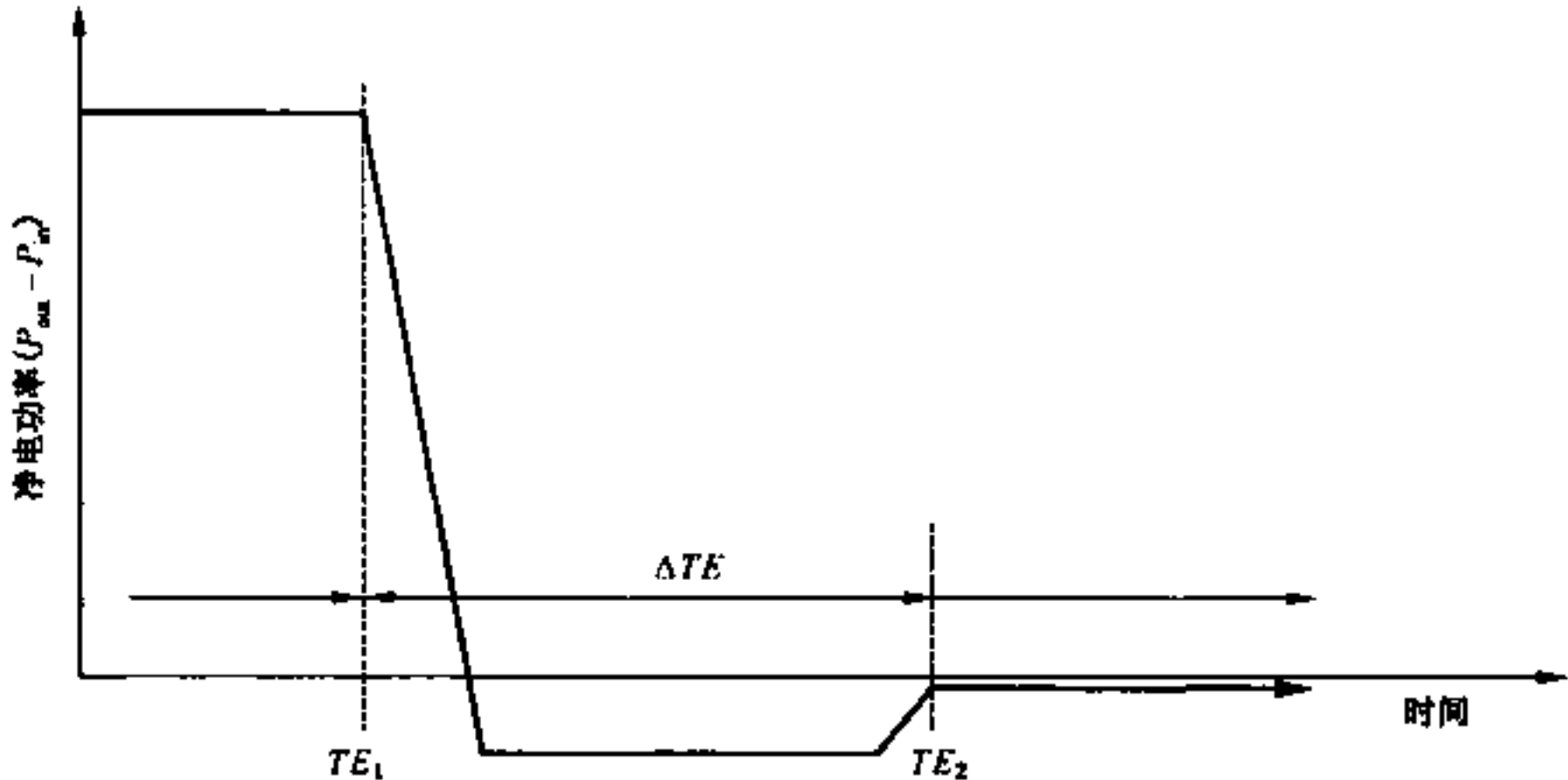
- a) 试验开始前,系统在额定电功率输出下运行 30 min 以上。
- b) 对于含有蓄电池的系统,系统以额定电功率输出运行 30 min 以上,直至达到已知标称充电状态。
- c) 开始试验。以 15 s 或更短的时间间隔测量电功率输出、电功率输入、电能输出、电能输入、累

计燃料输入(体积或质量)、燃料温度、燃料压力与大气压,直至试验完成。对于使用液体燃料的系统,燃料压力与大气压力无需测量。

- d) 开始正常的关机操作,记录下关机操作开始的时间点。
- e) 当正常的关机操作完成时,记录下完成的时间点。

注 1: 关机操作开始的时间点是指关机按钮按下去、或正常的关机信号发出的时间点。
注 2: 关机操作完成的时间点是指系统的净电功率返回至储存状态下系统的净电功率的时间点(上限至 150% 储存状态下系统的净电功率)。

储存状态下系统的净电功率是指即将启动操作前的净电功率。如果需要的话,试验开始前,关掉加热器(如果系统使用加热器),检查储存状态下系统的净电功率值。



说明:
 ΔTE —— 关机时长;
 TE_1 —— 关机初始时间点;
 TE_2 —— 关机完成时间点。

图 13 关机时的电功率图

14.8.3 结果计算

14.8.3.1 关机时间的计算

正常关机时间应按下式计算(参见图 13):

$$\Delta TE = TE_2 - TE_1 \dots\dots\dots (23)$$

式中:
 ΔTE —— 关机时间(s);
 TE_1 —— 关机初始时间点;
 TE_2 —— 关机完成时间点。

14.8.3.2 关机能耗的计算

14.8.3.2.1 关机时所需的燃料能量

对于使用气态燃料的系统,关机时燃料能量输入的计算,应使用所测得的累计燃料输入(体积或质量),燃料温度与燃料压力。计算过程与 14.2.1.3 里描述的体积流量、质量流量的计算相同,只是燃料消耗的体积或质量应用累计流量而非 14.2.1.3 里式(1)到式(8)中的平均流量。

对于使用液体燃料的系统,关机时燃料能量输入应使用试验开始时的质量与试验结束时的质量按式(9)与式(10) 进行计算。

对于系统中含有燃料储蓄池的情况,如图9中所示的例子,通过绕过燃料储存罐或把燃料储存罐安置于系统外,来精确测量消耗掉的燃料质量。

14.8.3.2.2 关机时的电能输入

关机时的电能输入应按下式计算:

$$W_{\text{shutdown}} = W_{\text{in}} - W_{\text{out}} \quad \dots\dots\dots(24)$$

式中:

W_{shutdown} ——关机时的电能输入(kWh);

W_{out} ——从关机操作开始到完成这段时间内的电能输出(kWh);

W_{in} ——从关机操作开始到完成这段时间内的电能输入(kWh)。

14.9 效率计算

14.9.1 概述

电效率、热回收效率及总效率基于14.2、14.3与第14章中的计算所得值来计算。

在IEC 62282-3-200中,效率的计算考虑到了提供给系统的燃料与反应气体的比焓与压力能。在本标准的效率计算中,不考虑这些值,因为对于小型固定式燃料电池发电系统而言,燃料与反应气体在低温与低压的条件下供给,这些值可以忽略不计。如果除燃料热值外还有其他能量输入,参考IEC 62282-3-200中的计算方法。

对于不收集副产热的系统,可省略热回收效率的计算,总效率等于电效率。

14.9.2 电效率

电效率 η_e ,用%表示,应按下式计算:

$$\eta_e = \frac{P_e}{Q_{\text{inf}}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(25)$$

式中:

η_e ——电效率,%;

P_e ——平均净电功率输出(kW)(参见14.3.3);

Q_{inf} ——平均燃料能量输入(kJ/s)(参见14.2.1.3.2及14.2.2.3)。

14.9.3 热回收效率

热回收效率 η_{th} ,用%表示,应按下式计算:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_{\text{HR}}}{Q_{\text{inf}}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(26)$$

式中:

η_{th} ——热回收效率(%);

Q_{HR} ——平均回收热能(kJ/s)(参见14.4.3);

Q_{inf} ——平均燃料能量输入(kJ/s)(参见14.2.1.3.2与14.2.2.3)。

热效率应与效率试验期间所测得的平均热回收流体温度 t_{HR1} 和 t_{HR2} 一起填入报告中。

14.9.4 总能量效率

总能量效率 η_{total} ,用%表示,计算方法如下:

$$\eta_{\text{total}} = \eta_e + \eta_{\text{th}} \quad \dots\dots\dots(27)$$

式中:

η_{total} ——总能量效率(%);

η_e ——电效率(%)(参见 14.9.2);

η_{th} ——热回收效率(%)(参见 14.9.3)。

15 环境性能的类型试验

15.1 概述

环境影响的类型试验包括:

——噪声试验(15.2);

——尾气试验(15.3);以及

——排放水试验(15.4)。

15.2 噪声试验

15.2.1 概述

此试验测量系统在每个运行阶段产生的噪声级,从启动、额定电功率输出、最小电功率输出(如果制造商规定了此运行模式且用户有此需求)到关机。额定电功率输出由制造商规定。

15.2.2 试验条件

15.2.2.1 基准面

基准面应设置在距离燃料电池发电系统四个侧面(前、后、左、右)1 m 远的地方。如果不可行,应调整为 50 cm,试验报告中应明确说明这一点。

应忽略燃料电池发电系统表面上的任何突出物,只要它们被视为对表面噪声无显著影响,且应按照 ISO 6798 对燃料电池发电系统表面进行概念上的简化。

15.2.2.2 测量点

应在 4 个点上进行测试,即燃料电池发电系统前后中心线上的 2 个方向及左右中心线上的 2 个方向。测量点应位于距离发电系统的底部 1.2 m 高的基准面上。

噪声计麦克风应相对于基准面进行垂直取向。

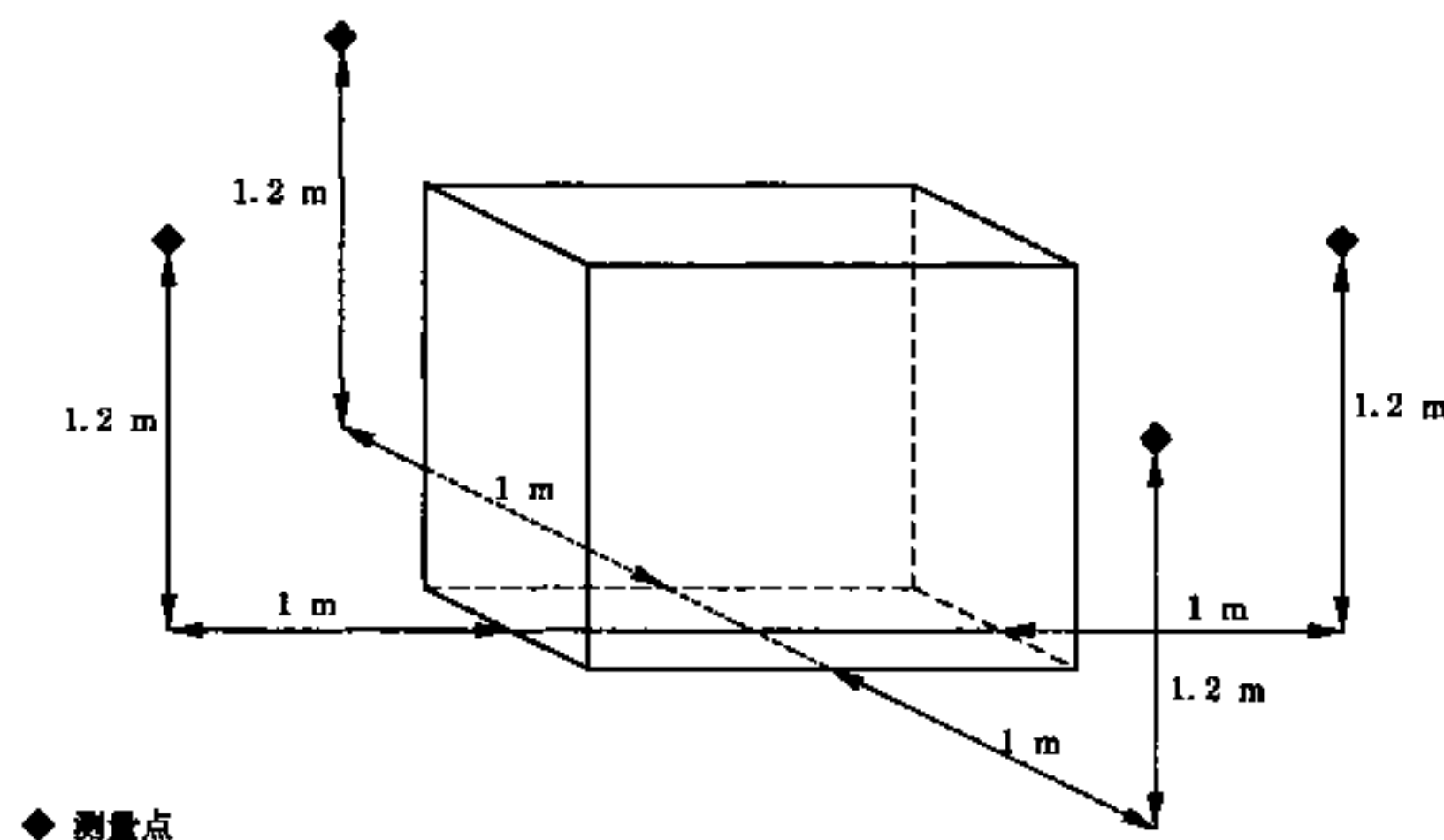


图 14 小型固定式燃料电池发电系统的噪声测量点

15.2.2.3 背景噪声的影响

噪声计在有待测噪声与无待测噪声时的读数差应在 10 dB 或 10 dB 以上。如果燃料电池发电系统
是唯一的噪声源,在读数差为 3 dB 或 3 dB 以上、10 dB 以下时,读数可根据表 3 来调整,确定噪声级。

表 3 背景噪声影响的读数补偿

有主噪声与无主噪声间的读数差	3	4	5	6	7	8	9
补偿值	-3	-2		-1			

15.2.2.4 回声的影响

当麦克风或声源附近有大反射体时,从反射体反射的声音加入声源的噪声会导致测量误差出现。
测量之前,尽可能地移开任何可能反射声音的物体;如果在测量条件做不到这一点,应在试验报告中对此进行说明。

15.2.3 试验方法

- a) 测量被测系统冷态的背景噪声级。
- b) 从冷态或储存状态下启动系统。
- c) 把输出升至额定电功率输出,且在达到额定电输出功率后等待至少 30 min。继续在额定电功率输出下运行系统 1 h 或更长时间。
- d) 如果制造商规定了最小电功率输出运行,且用户需要测量,设置系统为最小电功率输出,且在达到此条件下运行至少 30 min。系统继续在最小电输出功率下运行 1 h 或更长时间。
- e) 系统关机。
- f) 测量从启动到关机的噪声级。测量频率应以 1 s 为间隔。读数应以整数计。(例如,45.7 应计为 46)。
- g) 关机完成后,测量背景噪声级,并核实所测的背景噪声级无变化。

15.2.4 数据处理

- a) 应按照 15.2.2.3 所述修正背景噪声的影响。
- b) 以下代表性噪声级的数值应填入报告中:
 - 所有运行阶段的最大噪声级,与产生最大值的运行阶段;
 - 额定输出运行 1 h 的噪声级均值。

15.3 废气测试

15.3.1 概述

此试验测量小型固定式燃料电池发电系统尾气温度及其各种组分的浓度。此试验计算在启动、额定电功率输出和关机各个运行阶段各种组分的排放率及对人体有害组分的质量浓度。

根据燃料的不同,对于明显不包含在尾气中的组分,其测量可以省略(例如,纯氢气或天然气中的总碳氢化合物)。

可参考附录 D 中部分燃料的典型尾气组分。

15.3.2 待测组分

待测的组分如下:

- 一氧化碳(CO)；
- 二氧化碳(CO₂)；
- 氧气(O₂)；
- 氮氧化物(NO_x)；
- 二氧化硫(SO₂)；
- 总碳氢化合物(THC)。

使用替代燃料可能造成特殊有害污染物的排放。这些污染物应按照相关标准识别并测量。

15.3.3 试验方法

- a) 小心地把取样探头(一个或多个)完全放进尾气气流中。确保取样探头(一个或多个)不会阻塞排气管道。取样探头应放置在靠近燃料电池系统的尾气出口的位置；对于封闭式排气通风系统，置于尾气排放管道内部；对于开放式排气通风系统，直接置于尾气出口处。如果排气管道的外形尺寸太大，则在排气管道的中心及排气管横截面以网格选代表性的点上取读数，算出平均数。
- b) 对于开放式排气通风系统，小心地放置取样探头以防取样的气体与周围空气混合。
- c) 测量期间，确保避免在温度传感器上产生冷凝，冷凝将导致读数无效。
- d) 在冷态或储存状态下启动系统，把输出提升至额定电功率输出，达到额定电功率输出后保持至少 30 min。
- e) 继续在额定电功率输出下运行系统 1 h 或以上，然后关闭系统。
- f) 测量从启动到关机尾气中每种组分的浓度[以体积%或 mL/m³ (ppm)为单位]、燃料流量(体积或质量流量)、燃料压力与温度、室温和湿度。数据采集频率应为 15 s 或更短。

15.3.4 数据处理

15.3.4.1 浓度校正

测量的尾气中每种组分的浓度应用下面干燥尾气中测量的氧气浓度校正为非稀释条件下的浓度：

$$X_c = X_m \times O_{2i} / (O_{2i} - O_{2a}) \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中：

- X_c ——校正后的组分浓度；
- X_m ——测量的组分浓度；
- O_{2i} ——空气进口处测量的干燥状态下氧气浓度值(vol%) (如果是新鲜空气，O_{2i} = 21%)；
- O_{2a} ——干燥尾气中测量的氧气浓度值(vol%)。

15.3.4.2 从体积流速到质量流速的换算

如果燃料流速是以体积测量的，则体积流速 v_f，应按照以下 a) 与 b) 换算成质量流速 q_f：

- a) 将试验状态下的体积流速 v_f 应按以下公式换算成标准状态下的体积流速 v₀。
- $$v_0 = v_f \times (t_0 / t_f) \times (p_f / p_0) \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中：

- v₀ ——标准条件下的燃料体积流速(m³/s)；
- v_f ——试验条件下的燃料体积流速；
- t₀ ——标准温度(288.15 K)；
- p₀ ——标准压力[101.325 kPa(绝对值)]；
- t_f ——试验条件下的燃料温度(K)；

p_t ——试验条件下的燃料压力(绝对压力)[kPa(绝对值)]。

b) 应按下式计算燃料质量流量 q_t :

$$q_t = (v_0/M_0) \times M_{mf} \quad \dots\dots\dots(30)$$

式中:

q_t ——燃料质量流速(g/h);

v_0 ——标准条件下的燃料体积流速(m^3/h);

M_0 ——理想气体的标准摩尔体积($2.364\ 5 \times 10^{-2}\ m^3/mol$)(在此标准标准温度下, $t_0 = 288.15\ K$)(m^3/mol);

M_{mf} ——燃料的摩尔质量(g/mol)。

15.3.4.3 燃料组分相对分子量计算

应按以下公式计算燃料组分相对分子量:

$$CH_d = 12.011 + 1.007\ 94 \times \alpha_f \quad \dots\dots\dots(31)$$

式中:

CH_d ——燃料组分相对分子量;

α_f ——燃料的碳氢原子比;

12.011——碳原子(C)的相对原子量;

1.007 94——氢原子(H)的相对原子量。

对于汽油燃料与煤油燃料来说, CH_d 可采用以下值:

汽油:13.88 (其中 α_f 是 1.85);

煤油:13.97 (其中 α_f 是 1.94)。

15.3.4.4 每种组分排放率的计算

15.3.4.4.1 概述

在每种组分排放率的计算中,应运用 15.3.4.1、15.3.4.2、与 15.3.4.3 中计算出来的值。

15.3.4.4.2 一氧化碳排放率

一氧化碳的质量排放率 CO_{ms} ,应按下式计算:

$$CO_{ms} = \frac{CO_M}{CH_d} \times \frac{CO_{dr} \times 10^{-4}}{CO_{2dr} + CO_{dr} \times 10^{-4} + THC_{dr} \times 10^{-4}} \times q_t \quad \dots\dots\dots(32)$$

式中:

CO_{ms} ——单位时间内一氧化碳的质量排放率(g/h);

CO_M ——28.01 (一氧化碳的相对分子量);

CH_d ——燃料组分的相对分子量;

CO_{2dr} ——干燥尾气中二氧化碳的体积浓度[体积分数(%)];

CO_{dr} ——干燥尾气中一氧化碳的体积浓度[mL/m^3 (ppm)];

THC_{dr} ——干燥尾气中总碳氢化合物的体积浓度(碳当量)[mL/m^3 (ppm)];

q_t ——燃料质量流速(g/h)。

15.3.4.4.3 总碳氢化合物排放率

总碳氢化合物的质量排放率 THC_{ms} ,应按下式计算:

$$THC_{\max} = \frac{THC_M}{CH_d} \times \frac{THC_{dr} \times 10^{-4}}{CO_{2dr} + CO_{dr} \times 10^{-4} + THC_{dr} \times 10^{-4}} \times q_f \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

$THC_{\max}$ ——单位时间内总碳氢化合物的质量排放率(g/h);
 THC_M ——总碳氢化合物组分的相对分子量;
 CH_d ——燃料组分的相对分子量;
 CO_{2dr} ——干燥尾气中二氧化碳的体积浓度[体积分数(%)];
 CO_{dr} ——干燥尾气中一氧化碳的体积浓度[mL/m³(ppm)];
 THC_{dr} ——干燥尾气中总碳氢化合物的体积浓度(碳当量)[mL/m³(ppm)];
 q_f ——燃料质量流速(g/h)。

其中,组分相对分子量 THC_M 应按下式计算:

$$THC_M = 12.011 + 1.007\ 94 \times \alpha_c \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中:

THC_M ——总碳氢化合物组分的相对分子量;
 α_c ——尾气中总碳氢化合物的氢碳原子比;
12.011——碳原子(C)的相对原子量;
1.007 94——氢原子(H)的相对原子量。

对于汽油燃料与煤油燃料来说, CH_d 可采用以下值:

汽油:13.88(其中 α_c 是 1.85);

煤油:13.97(其中 α_c 是 1.94)。

15.3.4.4.4 氮氧化物的排放率

氮氧化物 NO_x 的质量排放率,应按下式计算。

由于氮氧化物的排放率随着输入空气的温度和湿度而变,测量期间应仔细保持环境条件的一致性。

$$NO_{x\max} = \frac{NO_{xM}}{CH_d} \times \frac{NO_{xdr} \times 10^{-4}}{CO_{2dr} + CO_{dr} \times 10^{-4} + THC_{dr} \times 10^{-4}} \times q_f \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中:

$NO_{x\max}$ ——单位时间内氮氧化物的质量排放率(g/h);
 NO_{xM} ——46.61(假设全部氮氧化物都为二氧化氮时氮氧化物的相对分子量);
 CH_d ——燃料组分的相对分子量;
 CO_{2dr} ——干燥尾气中二氧化碳的体积浓度[体积分数(%)];
 CO_{dr} ——干燥尾气中一氧化碳的体积浓度[mL/m³(ppm)];
 NO_{xdr} ——干燥尾气中氮氧化物的体积浓度[mL/m³(ppm)];
 THC_{dr} ——干燥尾气中总碳氢化合物的体积浓度(碳当量)[mL/m³(ppm)];
 q_f ——燃料质量流速(g/h)。

15.3.4.4.5 二氧化硫的排放率

二氧化硫的质量排放率 $SO_{2\max}$ 应按下式计算:

$$SO_{2\max} = \frac{SO_{2M}}{CH_d} \times \frac{SO_{2dr} \times 10^{-4}}{CO_{2dr} + CO_{dr} \times 10^{-4} + THC_{dr} \times 10^{-4}} \times q_f \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中:

SO_{2max} ——单位时间内二氧化硫的质量排放率(g/h);

SO_{2M} ——64.06(二氧化硫的相对分子量);

CH_{af} ——燃料组分的相对分子量;

CO_{2dr} ——干燥尾气中二氧化碳的体积浓度[体积分数(%)];

CO_{dr} ——干燥尾气中一氧化碳的体积浓度[mL/m³(ppm)];

SO_{2dr} ——干燥尾气中二氧化硫的体积浓度[mL/m³(ppm)];

THC_{dr} ——干燥尾气中总碳氢化合物的体积浓度(碳当量)[mL/m³(ppm)];

q_i ——燃料质量流速(g/h)。

15.3.4.4.6 二氧化碳排放率

二氧化碳的质量排放率 CO_{2max} 应按下式计算:

$$CO_{2max} = \frac{CO_{2M}}{CH_{af}} \times \frac{CO_{2dr} \times 10^{-4}}{CO_{2dr} + CO_{dr} \times 10^{-4} + THC_{dr} \times 10^{-4}} \times q_i \quad \dots\dots\dots(37)$$

式中:

CO_{2max} ——单位时间内二氧化碳的质量排放率(g/h);

CO_{2M} ——44.01(二氧化碳的相对分子量);

CH_{af} ——燃料组分的相对分子量;

CO_{2dr} ——干燥尾气中二氧化碳的体积浓度[体积分数(%)];

CO_{dr} ——干燥尾气中一氧化碳的体积浓度[mL/m³(ppm)];

THC_{dr} ——干燥尾气中总碳氢化合物的体积浓度(碳当量)[mL/m³(ppm)];

q_i ——燃料质量流速(g/h)。

15.3.4.5 每种组分质量浓度的计算

15.3.4.5.1 概述

在有害组分质量浓度的计算中,应运用 15.3.4.1 中计算所得的值。

15.3.4.5.2 一氧化碳质量浓度

一氧化碳的质量浓度应按下式计算:

$$CO_{conc} = CO_{dr} \times 1.252 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(38)$$

式中:

CO_{conc} ——一氧化碳的质量浓度(g/m³);

CO_{dr} ——干燥尾气中一氧化碳的体积浓度(mL/m³)。

15.3.4.5.3 总碳氢化合物的质量浓度

应按下式计算总碳氢化合物的质量浓度:

$$THC_{conc} = THC_{dr} \times (0.537 + 0.045 \times \alpha_c) \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(39)$$

式中:

THC_{conc} ——总碳氢化合物的质量浓度(g/m³);

THC_{dr} ——干燥尾气中总碳氢化合物的体积浓度(mL/m³, C 当量);

α_c ——尾气中的总碳氢化合物的氢碳原子比。

对于汽油燃料与煤油燃料来说, α 可采用以下的值:
汽油燃料:1.85;
煤油燃料:1.94.

15.3.4.5.4 氮氧化物的质量浓度

假设所有的氮氧化物都是二氧化氮,氮氧化物的质量浓度应按式(40)计算:

$$NO_{xconc} = NO_{xdr} \times 2.056 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(40)$$

式中:
 NO_{xconc} ——干燥尾气中氮氧化物的质量浓度(g/m³);
 NO_{xdr} ——干燥尾气中氮氧化物的体积浓度[mL/m³(ppm)].

15.3.4.5.5 二氧化硫的质量浓度

二氧化硫的质量浓度应按式(41)计算:

$$SO_{2conc} = SO_{2dr} \times 2.863 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(41)$$

式中:
 SO_{2conc} ——干燥尾气中二氧化硫的质量浓度(g/m³);
 SO_{2dr} ——干燥尾气中二氧化硫的体积浓度[mL/m³(ppm)].

15.3.4.6 每种组分的平均排放率与平均质量浓度

以下每一个运行阶段,都应计算每种测量的组分的平均排放率和每种测量的有害组分的平均质量浓度。

- a) 启动
启动期间,每种组分的平均排放率、平均质量浓度的计算,应取排放率的平均数、质量浓度的平均数。
在报告中填写平均排放率、平均质量浓度时,应附加平均室温和湿度的信息。
- b) 额定电输出功率
额定电功率输出运行(达到额定电功率输出 30 min 后的 1 h 的运行)期间,每种组分的平均排放率、平均质量浓度的计算,应取排放率的平均数、质量浓度的平均数。
在报告中填写平均排放率、平均质量浓度时,应附加平均电功率输出、平均室温和湿度的信息。
- c) 关机
关机期间,每种组分的平均排放率、平均质量浓度的计算,应取排放率的平均数、质量浓度的平均数。
在报告中填写平均排放率、平均质量浓度时,应附加平均室温和湿度的信息。

15.3.4.7 每种组分的最大排放率

每个运行阶段每种组分的最大平均排放率为最大排放率,应写在报告的附件中。

15.3.4.8 有害组分的最大质量浓度

每个运行阶段每种经测量的有害组分的最大平均排放率和最大平均质量浓度分别为最大排放率和最大质量浓度,应写在报告的附件中。

15.3.4.9 尾气温度

在额定电功率输出下测量的平均尾气温度,应与相关平均热回收流体在进口、出口的温度一起填写

在报告中。

15.4 排放水试验

15.4.1 概述

此试验测量从启动、额定电功率输出到关机的所有运行模式下,从小型固定式燃料电池发电系统中排出的水的质量。额定电输出功率由制造商规定。

待测排放水不包含被做为热输出的热水。

15.4.2 试验方法

- a) 安装收集排放水的装置后,启动燃料电池发电系统。
- b) 从启动到关机,额定电功率输出阶段要运行 3.5 h 或以上,期间排放水应收集、汇集在一起。
- c) 测量以下项目:
 - 排放水总量(应记录运行的持续时间);
 - 排放水温度;
 - pH 值;
 - 生化需氧量(BOD)(视情况而定);
 - 化学需氧量(COD)(视情况而定)。

对于 pH 值的测量,建议参考 ISO 10523,对于生化需氧量的测量,建议参考 ISO 5815,对于化学需氧量的测量,建议参考 ISO 6060。

16 试验报告

16.1 概述

试验报告应精确、清楚、客观地展现充足的信息,用以表明所有的试验目的都已达到。试验报告的最低要求包括标题页、目录和总结报告。对于遵照 IEC 62282 进行试验的燃料电池系统,应对相关各方呈交总结报告。

用于内部的用途,在第 14 章、第 15 章所得的更多信息可以写在详细报告与(或)完整报告中。附录 E 中提供了详细报告与完整报告的内容指南。

16.2 标题页

标题页应展现以下信息:

- a) 报告编号(可选);
- b) 报告类型(总结,详细或完整);
- c) 报告作者;
- d) 试验操作人员,测试单位;
- e) 报告日期;
- f) 试验地点;
- g) 试验标题;
- h) 试验日期与时间;
- i) 燃料电池发电系统的编号与制造商的名称。

16.3 目录

目录应按照顺序展现报告中每章的标题、副标题等及其页码。

16.4 总结报告

总结报告应包含以下的信息：

- a) 试验目的；
- b) 试验、仪器和设备的描述；
- c) 所有的试验结果；
- d) 每个试验结果的不确定性；
- e) 每个试验结果的可信度；
- f) 适当的结果；
- g) 试验及其结果的讨论(例如：评价与观察)；
- h) 燃料分析的结果。

附录 A
(资料性附录)
天然气组分的热值

表 A.1 列出了天然气组分的热值。

表 A.1 理想气体在各种燃烧标准条件下天然气组分的热值

序号	组分	单位摩尔的低热值 kJ/mol	单位摩尔的高热值 kJ/mol	单位质量的低热值 MJ/kg	单位质量的高热值 MJ/kg
1	甲烷	802.69	891.56	50.035	55.574
2	乙烷	1 428.84	1 562.14	47.52	51.95
3	丙烷	2 043.37	2 221.1	46.34	50.37
4	正丁烷	2 657.6	2 879.76	45.72	49.55
5	2-甲基丙烷	2 648.42	2 870.58	45.57	49.39
6	正戊烷	3 272.00	3 538.6	45.35	49.04
7	2-甲基丁烷	3 265.08	3 531.68	45.25	48.95
8	2,2-二甲基丙烷	3 250.83	3 517.43	45.06	48.75
9	正己烷	3 887.21	4 198.24	45.11	48.72
10	2-甲基戊烷	3 879.59	4 190.62	45.02	48.43
11	3-甲基戊烷	3 882.19	4 193.22	45.05	48.66
12	2,2-二甲基丁烷	3 869.8	4 180.83	44.91	48.51
13	2,3-二甲基丁烷	3 877.57	4 188.6	45.00	48.6
14	正庚烷	4 501.72	4 857.18	44.93	48.47
15	正辛烷	5 116.11	5 516.01	44.79	48.29
16	正壬烷	5 731.49	6 175.82	44.69	48.15
17	正癸烷	6 346.14	6 834.9	44.6	48.04
18	乙烯	1 323.24	1 412.11	47.17	50.34
19	丙烯	1 926.13	2 059.43	45.77	48.94
20	1-丁烯	2 540.97	2 718.7	45.29	48.46
21	顺-2-丁烯	2 534.2	2 711.9	45.17	48.33
22	反-2-丁烯	2 530.5	2 708.3	45.1	48.27
23	2-甲基丙烷	2 524.3	2 702.00	44.99	48.16
24	1-戊烯	3 155.59	3 377.75	44.99	48.16
25	丙二烯	1 855.09	1 943.96	46.3	48.52
26	1,2-丁二烯	2 461.82	2 595.12	45.51	47.98
27	1,3-丁二烯	2 408.8	2 542.1	44.53	47.00
28	乙炔	1 256.94	1 301.37	48.27	49.98

表 A.1 (续)

序号	组分	单位摩尔的低热值 kJ/mol	单位摩尔的高热值 kJ/mol	单位质量的低热值 MJ/kg	单位质量的高热值 MJ/kg
29	环戊烷	3 100.03	3 322.19	44.2	47.37
30	甲基环戊烷	3 705.86	3 912.46	44.03	47.2
31	乙基环戊烷	4 320.92	4 631.95	44.01	47.17
32	环己烷	3 689.42	3 956.02	43.84	47.01
33	甲基环己烷	4 293.06	4 604.09	43.72	46.89
34	乙基环己烷	4 911.49	5 266.95	43.77	46.94
35	苯	3 169.56	3 302.86	40.58	42.28
36	甲苯	3 772.08	3 949.81	40.94	42.87
37	乙苯	4 387.37	4 609.53	41.33	43.42
38	邻二甲苯	4 376.48	4 598.64	41.22	43.31
39	甲醇	676.22	765.09	21.1	23.88
40	甲硫醇	1 151.41	1 240.28	23.93	25.78
41	氢气	241.72	286.15	119.91	141.95
42	水	0	44.433	0	2.47
43	硫化氢	517.95	562.38	15.2	16.5
44	氨	316.86	383.51	18.61	22.52
45	氢氰酸	649.5	671.7	24.03	24.85
46	一氧化碳	282.91	282.91	10.1	10.1
47	氧硫化碳	548.15	548.15	9.12	9.12
48	二硫化碳	1 104.32	1 104.32	14.5	14.5
注：以上这些值摘自 ISO 6976:1995 的表 3 与表 4。					

附 录 B
(资料性附录)
天然气组分案例

表 B.1 中列出了天然气组分的例子。

表 B.1 天然气组分案例 %

	A1	A2	G25	B1	B2	G20	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	N1	N2	N4	N5	K4	J1	J2	J3	J4	G1	G2
CH ₄	66.2	67.2	86.0	63.0	82.4	100.0	65.1	74.9	75.6	97.2	88.9	71.7	92.0	85.70	90.65	90.50	90.35	89.57	90.00	89.6	88.9	87.5	89.2	83.4	72.0
C ₂ H ₆	5.0	1.7	0.0	11.7	0.0	0.0	8.3	3.3	11.7	0.0	10.0	15.0	1.7	13.30	4.0	4.0	4.0	5.0	6.0	5.6	6.8	5.9	4.6	6.7	13.3
C ₃ H ₈	0.7	3.3	0.0	2.0	0.0	0.0	4.0	3.3	0.7	1.3	0.0	2.7	6.0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.4	3.1	5.3	2.7	4.7	5.3
C ₄ H ₁₀	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.7	1.0	0.5	0.2	0.0	0.3	0.2	0.2	n-0.3 i-0.3 neo-0.0	n-0.3 i-0.3 neo-0.0	n-0.15 i-0.3 neo-0.15	n-0.3 i-0.3 neo-0.1	n-0.2 i-0.2 neo-0.0	1.4	1.2	1.2	3.4	1.5	1.3
C ₅ H ₁₂	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.6	0.4	0.3	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	n-0.1 i-0.1	n-0.15 i-0.15	n-0.15 i-0.15	n-0.1 i-0.1	n-0.2 i-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.9
C ₆ +	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4
CO ₂	7.8	10.0	0.0	5.6	2.2	0.0	5.6	1.1	8.9	1.1	1.1	3.3	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
N ₂	20.0	17.8	14.0	17.8	13.3	0.0	15.6	15.6	2.2	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	2.5	2.5	2.5	2.5	1.2	0.0	0.0	0.1	0.1	2.2	4.4
LHV(kWh/m ³)	7.84	7.86	8.13	8.89	9.01	9.45	9.66	9.58	10.19	10.21	10.65	10.77	11.19	11.26	10.28	10.33	10.33	10.38	10.66	11.29	11.29	11.56	11.58	11.92	11.96
LHV(MJ/m ³)	28.21	28.30	29.25	32.01	32.43	34.02	34.77	34.48	36.76	36.68	38.34	38.77	40.30	40.55	37.01	37.19	37.18	37.37	38.37	40.64	40.66	41.63	41.69	42.93	43.07
HHV(kWh/m ³)	8.69	8.71	9.03	9.84	9.99	10.49	10.67	10.59	11.30	11.31	11.81	11.90	12.39	12.47	11.15	11.20	11.07	11.25	11.56	12.51	12.51	12.80	12.82	13.17	13.20
HHV(MJ/m ³)	31.27	31.36	32.49	35.41	35.96	37.78	38.40	38.14	40.67	40.72	42.51	42.85	44.90	44.90	40.12	40.32	39.85	40.52	41.60	45.02	45.03	46.07	46.15	47.42	47.50

表 B.2 中列出了丙烷气组分的案例。

44

表 B.2 丙烷气组分案例

%

	JP1	1A	1B	1C	1D	1E	2A	2B	2C	2D	3A	3B	3C	3D	3E	3F	3G	3H	G30
C ₂ H ₆	0.8	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0
C ₃ H ₈	98.0	100.0	90.0	90.0	80.0	80.0	70.0	70.0	60.0	60.0	50.0	50.0	40.0	40.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0
	n—50																		
LHV(kWh/m ³) LHV(MJ/m ³)	25.37	25.94	25.96	26.80	26.82	27.65	27.68	28.51	28.53	29.36	29.38	30.22	30.24	31.07	31.95	32.78	33.66	34.49	32.25
HHV(kWh/m ³) HHV(MJ/m ³)	27.56	28.22	28.25	29.14	29.14	30.06	30.09	30.98	31.00	31.90	31.92	32.82	32.84	33.73	34.68	35.57	36.52	37.41	34.94

附录 C
(资料性附录)
典型示范试验操作表

表 C.1 列举了典型示范试验的操作表。

表 C.1 典型示范试验操作表

编号	试验类型	操作程序	章节	预计持续时间
1	储存状态试验	在储存状态下运行系统	14.6	3 h
2	启动试验	启动系统至额定电功率输出	14.5	视系统而定
3	燃料消耗试验 电功率输出试验 热回收试验	在额定电输出功率下运行系统	14.2	3 h
			14.3	
			14.4	
4	燃料消耗试验 电功率输出试验 热回收试验	在 75%额定电输出功率下运行系统	14.2	3 h
			14.3	
			14.4	
5	燃料消耗试验 电功率输出试验 热回收试验	在 50%额定电输出功率下运行系统	14.2	3 h
			14.3	
			14.4	
6	燃料消耗试验 电功率输出试验 热回收试验	在最小电输出功率下运行系统	14.2	3 h
			14.3	
			14.4	
7	关机试验	在额定电输出功率下运行系统， 关闭系统	14.8	视系统而定
8	电功率输出变化试验	启动系统， 在不同的输出下运行系统， 关闭系统	14.7	8 h
9	噪声试验	冷态下的系统	15.2	30 min
10	尾气试验 噪声试验 排放水试验	启动系统至额定电功率输出	15.2	视系统而定
			15.3	
			15.4	
11	尾气试验 噪声试验 排放水试验	在额定电输出功率下运行系统	15.2	1 h
			15.3	
			15.4	
12	尾气试验 噪声试验 排放水试验	关闭系统	15.2	视系统而定
			15.3	
			15.4	

附 录 D
(资料性附录)
典型尾气组分

表 D.1 列出了源自典型燃料的预期典型尾气组分。

图 D.1 典型燃料的预期典型尾气组分

气体组分	一氧化碳	氮氧化物	二氧化硫	总碳氢化合物
氢气	无	无	无	无
天然气	有	有	无	无
丙烷	有	有	无	有
煤油	有	有	有	有
汽油	有	有	有	有

附 录 E
(资料性附录)
详细和完整报告的内容指南

E.1 概述

建议创建详细报告及/或完整报告时,应记录下充足的信息,以表明所有试验目的均已达到。
各类报告都应添加标题页及目录页,标题页应包含 16.2 中所描述的相同信息。

E.2 详细报告

除了总结报告所包含的信息之外,详细报告应包含以下信息:

- a) 类型,规格,燃料电池发电系统的运行结构及展现试验边界的流程图;
- b) 计划安排、仪器设备的地点与运行条件的说明;
- c) 仪器的校准结果;
- d) 计算方法的参考依据;
- e) 结果的表格化、图形化展现。

E.3 完整报告

除了详细报告中包含的信息外,完整报告还应包含以下信息:

- a) 原始数据表的复印件;
- b) 除了测量数据外,原始数据表应包含以下信息:
 - 1) 试验运行的日期和时间;
 - 2) 试验所用仪器的型号、序列号及测量准确度;
 - 3) 试验环境条件;
 - 4) 试验操作人员的姓名与资质;
 - 5) 完整详细的不确定度分析。

参 考 文 献

- [1] IEC 60050-601,1985 International Electrotechnical Vocabulary — Part 601; Generation, transmission and distribution of electricity—General
 - [2] IEC 61672-2 Electroacoustics—Sound level meters—Part 2; Pattern evaluation tests
 - [3] IEC/TS 62282-1;2010 Fuel cell technologies—Part 1; Terminology
 - [4] ISO 6326 (all parts) Natural gas-Determination of sulfur compounds
 - [5] ISO 6974 (all parts) Natural gas-Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography
 - [6] ISO 6975 (all parts) Natural gas-Extended analysis—Gas-chromatographic method
 - [7] ISO 6976 Natural gas-Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition
 - [8] ISO 7934 Stationary source emissions—Determination of the mass concentration of sulfur dioxide—Hydrogen peroxide/barium perchlorate/Thorin method
 - [9] ISO 7935 Stationary source emissions—Determination of the mass concentration of sulfur dioxide—Performance characteristics of automated measuring methods
 - [10] ISO 7941 Commercial propane and butane—Analysis by gas chromatography
 - [11] ISO 10396 Stationary source emissions—Sampling for the automated determination of gas emission concentrations for permanently-installed monitoring systems
 - [12] ISO 10849 Stationary source emissions—Determination of the mass concentration of nitrogen oxides—Performance characteristics of automated measuring systems
 - [13] ISO 11042-1 Gas turbines—Exhaust gas emission—Part 1; Measurement and evaluation
 - [14] ISO 11042-2 Gas turbines—Exhaust gas emission—Part 2; Automated emission monitoring
 - [15] ISO 11541 Natural gas—Determination of water content at high pressure
 - [16] ISO 11564 Stationary source emissions—Determination of the mass concentration of nitrogen oxides—Naphthylethylenediamine photometric method
 - [17] ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems
 - [18] SAE ARP 1533A-2004 Procedure for the Analysis and Evaluation of Gaseous Emissions from Aircraft Engines
 - [19] EN 50465 Gas appliances—Fuel cell gas heating appliances—Fuel cell gas heating appliance of nominal heat input inferior or equal to 70 kW
 - [20] ASTM D4809-09 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method)
-



中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

固定式燃料电池发电系统 第4部分：
小型燃料电池发电系统性能试验方法
GB/T 27748.4—2017/IEC 62282-3-201; 2013

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 3.5 字数 97 千字
2017年7月第一版 2017年7月第一次印刷

*

书号: 155066·1-55968 定价 48.00 元



GB/T 27748.4—2017