



中华人民共和国国家标准

GB/T 14099—2005
代替 GB/T 14099—1993, GB/T 14099.1—2004, GB/T 14099.2—2004

燃气轮机 采购

Gas turbines—Procurement

2005-08-31 发布

2006-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国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 定义	1
4 标准参考条件	9
5 试车燃料	9
6 额定值	9
7 控制和保护装置	11
8 燃料	14
9 环境	15
10 询价时采购方应提供的技术资料	17
11 投标时制造商应提供的技术资料	19
附录 A(规范性附录) 安全措施	23
附录 B(规范性附录) 排烟测量	24
附录 C(资料性附录) 燃气轮机排气中氮氧化物总含量的测定	29
附录 D(资料性附录) 维护	32
附录 E(资料性附录) 关于燃料的补充资料	34
附录 F(资料性附录) 参考文献	38

前 言

本标准代替了 GB/T 14099—1993《燃气轮机 采购》、GB/T 14099.1—2004《燃气轮机 采购 第1部分：总则与定义》和 GB/T 14099.2—2004《燃气轮机 采购 第2部分：标准参考条件与额定值》。

本标准的附录 A 和附录 B 为规范性附录；

本标准的附录 C、附录 D、附录 E 和附录 F 为资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国燃气轮机标准化技术委员会(CSBTS/TC 259)归口。

本标准起草单位：上海汽轮机有限公司、苏州高达热电有限公司、南京燃气轮机研究所、上海发电设备成套设计研究所、国电热工研究院、哈尔滨汽轮机厂有限责任公司、浙江省电力设计院。

本标准主要起草人：顾德明、胡星辉、涂庆国、杨道刚、王铭忠、林公舒、何语平。

本标准所代替的标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 14099—93；

——GB/T 14099.1—2004；

——GB/T 14099.2—2004。

燃气轮机 采购

1 范围

1.1 本标准为用户提供向制造商采购燃气轮机装置包括联合循环机组及其辅助设备时所需的技术资料。由于燃气轮机的实际运行模式有很大的差别,本标准(有关部分)对运行模式进行明确分类,各类运行模式都有相应的标准额定值,这些额定值是基于 ISO 标准环境条件制定的。

1.2 本标准对投标时所必须满足的各种环境 and 安全方面的要求提出了依据,在可能情况下还给出了确定这些要求是否已被满足的标准。本标准不涉及燃气轮机安装时所必须遵守的国家或地方的法律和规定。

1.3 本标准对所涉及到的燃料和其他问题,例如用户及制造商双方应提供的资料作了规定,但并不意味包含了合同所需的全部资料,每台燃气轮机的安装都应作为一个整体考虑。制造商与用户之间应进行技术协调,以保证所供应的设备互相配合,当由几个制造商共同供应设备时更须注意。

注:本标准所用的“制造商”这一术语是指燃气轮机制造商或是相应的责任承包者。

1.4 本标准适用于常规燃烧系统的开式循环燃气轮机动力装置以及闭式循环、半闭式循环和联合循环的燃气轮机动力装置。对于采用自由活塞式燃气发生器型燃气轮机或具有特殊热源(如化学流程、核反应堆、增压锅炉等)的燃气轮机,本标准也可作为依据,但需作适当修改。

本标准不适用于飞机、建筑机械、农业和工业牵引机械及汽车上采用的燃气轮机。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准。然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 14100—1993 燃气轮机 验收试验(eqv ISO 2314:1989)

3 定义

本标准规定的下列定义都适用。

3.1

燃气轮机 gas turbine

(单机)把热能转换为机械功的旋转机械,包括压气机、加热工质的设备(如燃烧室)、透平、控制系统和辅助设备。

注:燃气轮机系统的示例见图 1。

3.2

燃气轮机动力装置 gas turbine power plant

燃气轮机为产生有用的动力(例如:电能、机械能或热能)所必需的全部基本设备。

3.3

开式循环 open cycle

工质从大气进入燃气轮机,再排入大气的热力循环。

3.4

闭式循环 closed cycle

工质在封闭系统中循环工作而与大气无关的热力循环。

3.5

半闭式循环 semiclosed cycle

燃烧在工质中进行,一部分工质进入再循环,另一部分与大分排向气相交换的热力循环。

3.6

简单循环 simple cycle

依次由压缩、燃烧和膨胀过程组成的热力循环。

3.7

回热循环 regenerative cycle

利用回收排气余热的热力循环。它包含依次对工质的压缩、回热加热、燃烧、膨胀和回热放热(排气热量传递给压气机出口的工质)。

3.8

中间冷却循环(间冷循环) intercooled cycle

在相继的压缩段之间对工质进行冷却的热力循环。

3.9

再热循环 reheat cycle

在相继的膨胀段之间对工质进行再加入热量的热力循环。

3.10

联合循环 combined cycle

燃气轮机循环与蒸汽或其他流体的朗肯循环相联合的热力循环。

注1:常见的例子是燃气轮机的排气热量被用来产生朗肯循环中的蒸汽。

注2:这种循环的优良热力性能是由于综合了每个循环的最佳热力特性。即:在燃气轮机循环中能在较高温度下加入热量,而在朗肯循环中热量能在较低温度下释放。

3.11

单轴燃气轮机 single-shaft gas turbine

通过一根轴把压气机与透平及负荷机械连接,从而使它们旋转一致,传递由透平膨胀过程产生的动力的燃气轮机。

3.12

多轴燃气轮机 multi-shaft gas turbine

有两根或两根以上机械上相互独立旋转的透平轴的燃气轮机。

注:多轴燃气轮机可以是具有一个自由动力透平和单根压气机-透平轴的分轴燃气轮机或具有多个压气机-透平轴的燃气轮机。

3.13

抽气式燃气轮机 bled gas turbine

在压气机级间和/或压气机出口抽出压缩空气,或在透平进口和/或透平级间抽出热燃气以供外部使用的燃气轮机。

3.14

燃气发生器 gas generator

产生高温压力燃气、输送给工艺流程或自由动力透平的燃气轮机的组件。

注:它由一个或多个旋转的压气机、与工质相关的热设备、一个或多个驱动压气机的透平、控制系统以及基本的辅助设备组成。

3.15

压气机 compressor

利用机械动力增加工质的压力,并伴有温度升高的燃气轮机部件。

3.16

透平 turbine

利用工质的膨胀产生机械动力的燃气轮机部件。

同义词：涡轮。

3.17

动力透平 power turbine

由燃气发生器排出的燃气驱动的透平,通过该透平的独立轴产生输出动力。

3.18

燃烧室(一次或再热) combustion chamber (primary or reheat)

燃料(热源)与工质发生反应,增加工质温度的燃气轮机部件。

3.19

工质(燃气或空气)加热器 working fluid (gas or air) heater

热源在其内间接增加工质温度的设备。

3.20

回热器 regenerator/recuperator

将透平排气的热量传给进入燃烧室前工质的各种类型的热交换器。

3.21

预冷器 precooler

在工质开始压缩之前降低其温度的热交换器或蒸发冷却器。

3.22

中间冷却器 intercooler

降低在压缩段之间工质温度的热交换器或蒸发冷却器(喷雾式中间冷却器)。

3.23

超速遮断装置 overspeed trip

当转子转速达到设定值时,能立即触发超速保护系统的控制或遮断的部件。

3.24

控制系统 control system

在所有运行方式下用来控制、保护、监视及报告燃气轮机状况的总系统。

注：它包括启动控制系统、调节器和燃料控制系统、转速显示器、仪表,电源控制及其他如顺序启动、稳定运行、停机、遮断及异常工况下的停机和备用运行所必要的控制。

3.25

调节系统 governing system

为控制关键参数(例如：转速、温度、压力、输出功率、推力、间隙等)所提供的控制元件和设备。

3.26

燃料调节阀 fuel governor valve

阀门或其他任何用作最终燃料调节元件的装置,用于控制进入燃气轮机的燃料量。

注：可能也有其他控制燃气轮机燃料流量的方式。

3.27

燃料切断(截止)阀 fuel stop valve

当被触发时,切断进入燃烧系统的全部燃料供应的装置。

3.28

迟缓率 dead band

当输入信号变化后,其执行机构不产生随动反应的一个区域。转速迟缓率用额定转速的百分数来

表示。

同义词:死区。

3.29

转速不等率 governor droop

输出功率从零变化到额定值时产生的稳态转速变化量,用额定转速百分比表示。

3.30

超温检测器 overtemperature detector

对温度直接响应的一次检测元件。当温度达到设定值时,通过合适的放大器或转换器,立即作用于保护系统。

3.31

燃料比能(热值) fuel specific energy (calorific value)

总比能(高热值)是单位质量的燃料完全燃烧时所释放的总热量,单位是 kJ/kg。净比能(低热值)是总比能减去燃烧过程中水分蒸发所吸收的热量,单位也是 kJ/kg。

注:可以得到两个比能,即定容比能和定压比能,它们之间略有区别,定容下总比能采用弹式量热器测得。

定压下的净比能值用于稳流燃烧流程中(见 GB/T 14100—1993)。同样此比能可以根据 ISO 4261(见附录 E)计算获得。

3.32

热耗率 heat rate

燃气轮机每单位时间消耗的燃料能量与输出的净功率的比值,单位是 kJ/kW·h。热耗率是以燃料的净比能为基础的,包括 15℃ 以上的湿热(GB/T 14100—1993,8.2.3)。

注:这同样适用于在第 5 章中的试车燃料,也可以用热效率的倒数来表示(见 3.34)。燃气轮机的净功率输出根据 GB/T 14100—1993 中 8.1 得出。

3.33

燃料消耗率 specific fuel consumption

每单位净输出功率的燃料消耗量,单位是 kJ/kW·h,所用的净比能在 6.1.2 中规定。

3.34

热效率 thermal efficiency

净输出功率与基于燃料净比能(见 GB/T 14100—1993,8.2.2 和 8.3.3e)的热耗之比。

3.35

透平参考进口温度 reference turbine inlet temperature

第一级静叶前工质的平均温度(GB/T 14100—1993,8.6 规定)。

3.36

自持转速 self-sustaining speed

燃气轮机转子在最不利的环境条件下能够正常运行的最小转速,此时,不需外力来维持燃气轮机的稳态运行或使转子加速。

3.37

空负荷转速 idling speed

允许燃气轮机持续运行而不对外输出功的指定转速。

3.38

最高连续转速 maximum continuous speed

燃气轮机输出轴能连续运行的最高转速。

3.39

额定转速 rated speed

燃气轮机产生额定功率时输出轴的转速。

3.40

透平遮断转速 turbine trip speed

独立的危急超速保护装置切断燃料供应时燃气轮机的转速。

3.41

蒸汽和/或水的喷注 steam and/or water injection

向工质喷注蒸汽和/或水,以增加功率和/或减少排气中氮氧化合物的含量。

3.42

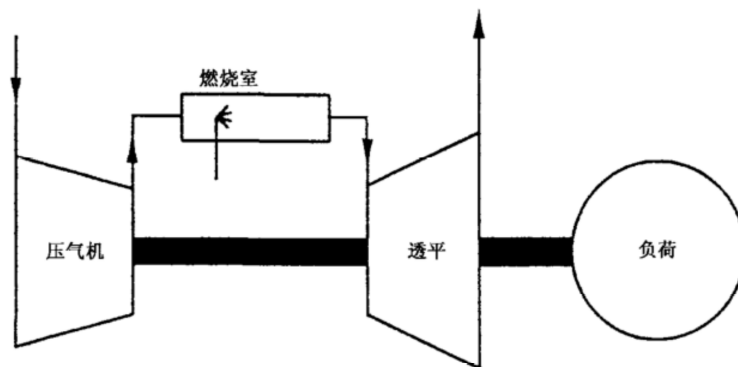
质量功率比(移动式使用) mass-to-power(mobile applications)

燃气轮机各部件总干质量(按 3.1 计算)与燃气轮机标准额定功率之比,按 6.3 定义用 kJ/kW 表示。

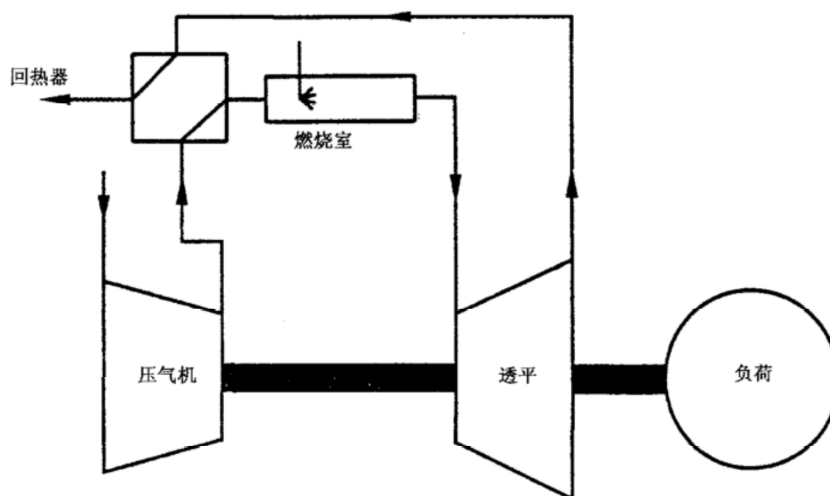
3.43

压气机喘振 compressor surge

在压气机和连接管道中,出现工质流动以较低频率振荡为特征的不稳定工况。

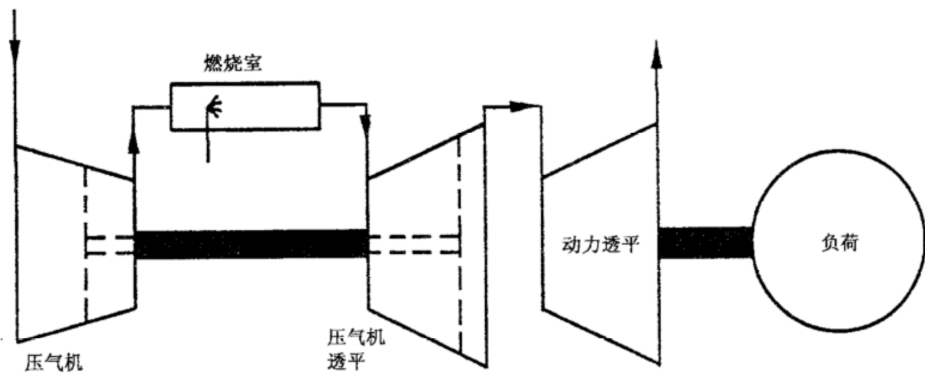


a) 简单循环单轴燃气轮机



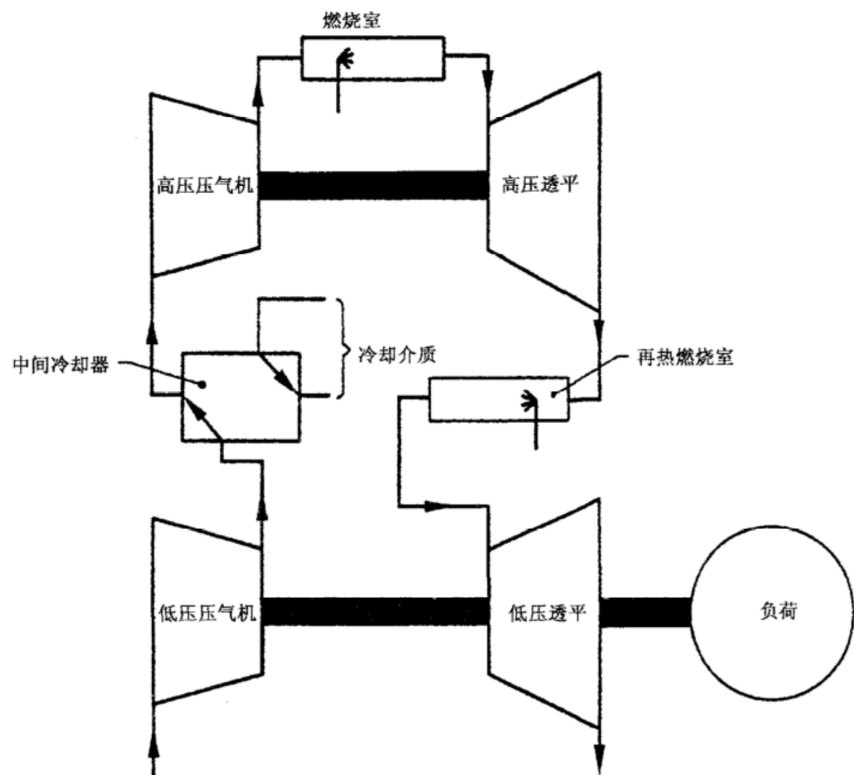
b) 回热循环单轴燃气轮机

图 1 燃气轮机布置的各种实例



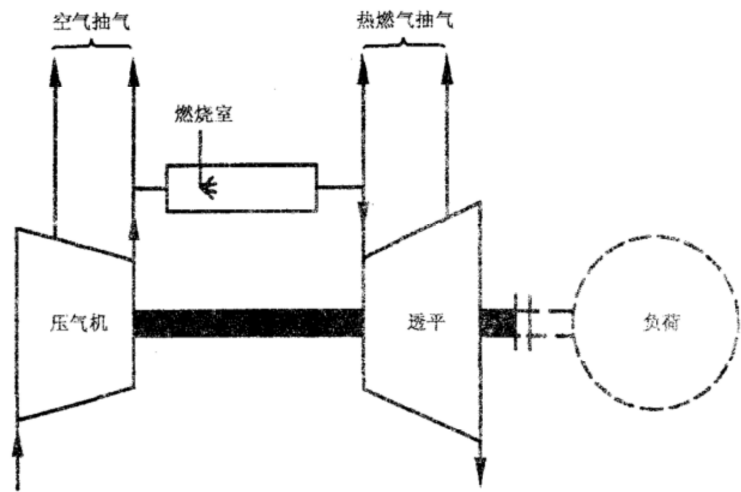
注：虚线表示可供另行选择的套轴方案。

c) 简单循环分轴燃气轮机,即带有独立的动力透平

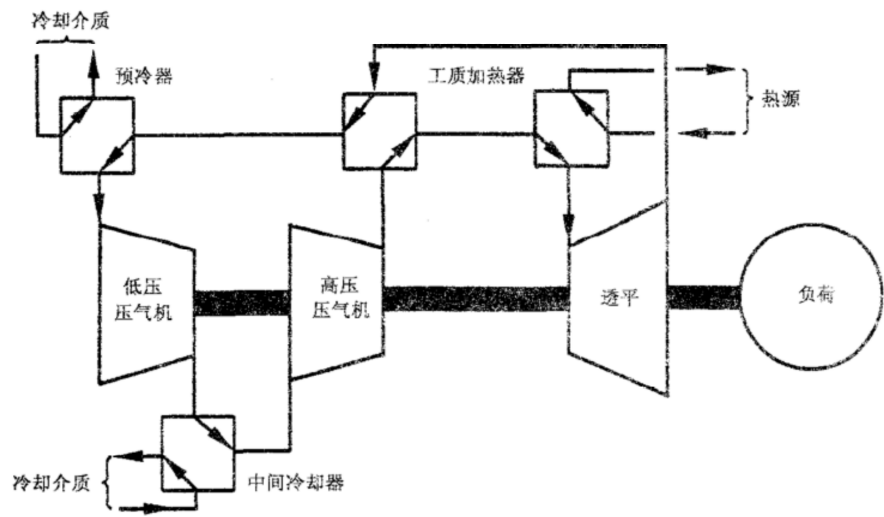


d) 中间冷却和再热循环(复合型)、多轴燃气轮机(低压轴带负荷)

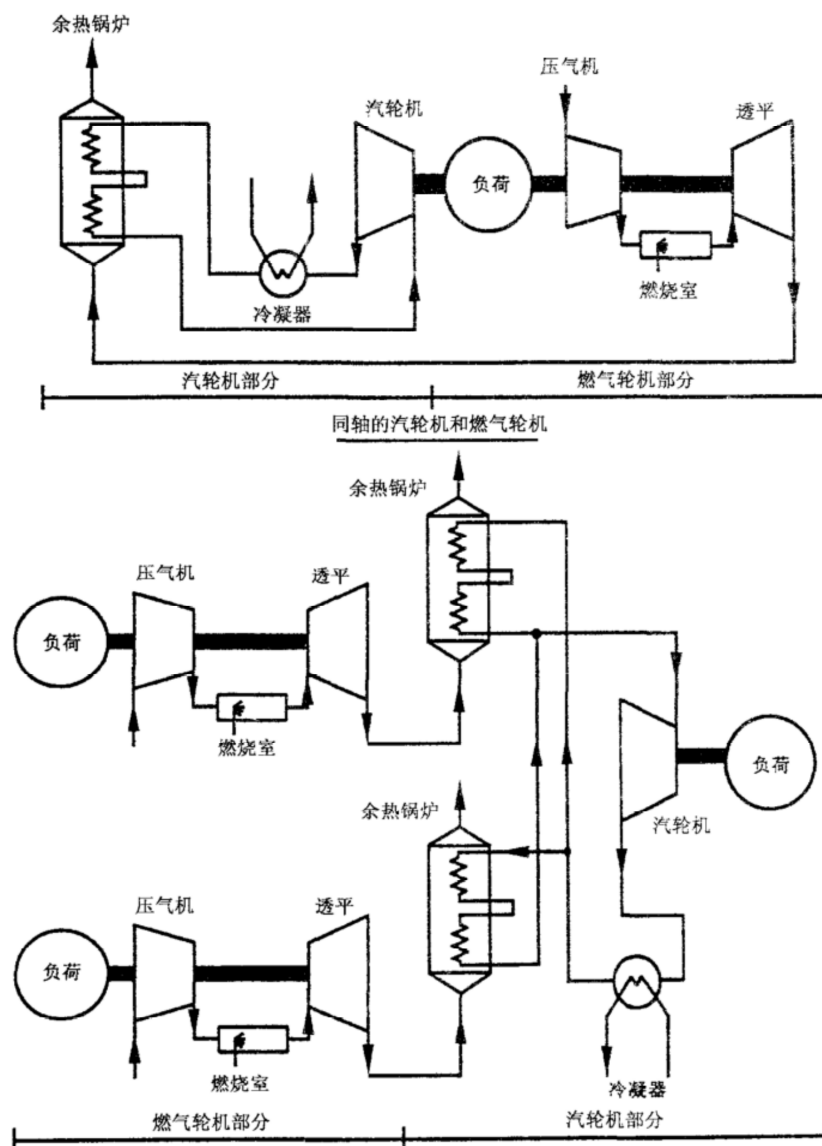
图 1 (续)



e) 具有抽空气和抽热燃气的单轴燃气轮机

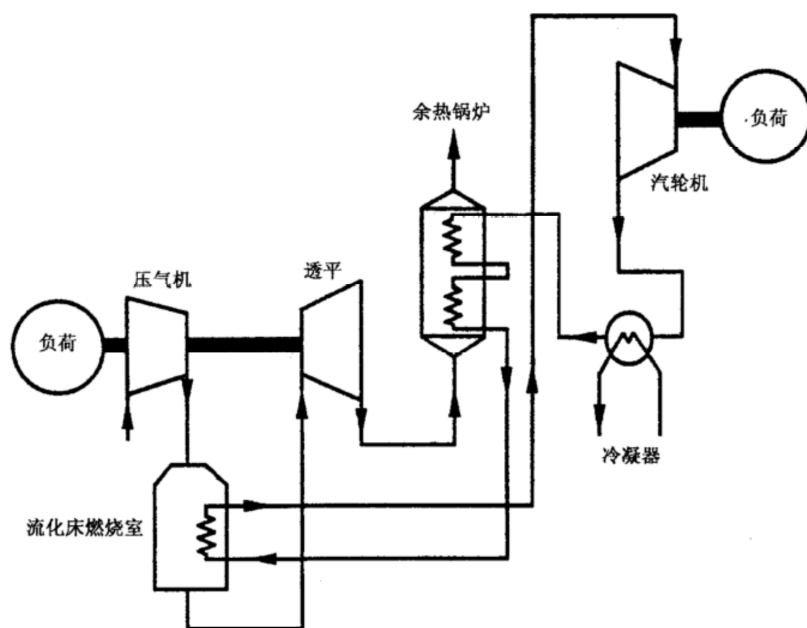


f) 单轴闭式循环燃气轮机
图 1 (续)



g) 具有 2 台燃气轮机和 1 台汽轮机的联合循环燃气轮机示意图

图 1 (续)



h) 具有增压流化床燃烧室的联合循环燃气轮机

图 1 (续)

4 标准参考条件

ISO 的功率、效率、热耗率或燃料消耗率所依据的标准参考条件在 4.1~4.4 中规定。

4.1 空气进气条件

按 GB/T 14100—1993 中 6.6.2 的规定,压气机进口法兰处(或压气机进气喇叭口处)空气的条件为:

- 总压 101.3 kPa;
- 总温 15℃;
- 相对湿度 60%。

4.2 排气条件

透平排气法兰处(如采用回热循环,则在回热器出口处)的排气静压为 101.3 kPa。

4.3 冷却水条件(如果采用)

如果对工质进行冷却,冷却水进口温度为 15℃。

4.4 工质加热器或冷却器

使用环境空气的加热器或冷却器,环境空气的标准参考条件应为总温 15℃和总压 101.3 kPa。

5 试车燃料

当燃气轮机试车用的燃料与采购方和制造商双方认可的常规运行燃料不同时(见 10.7),则应采用双方认可的试车燃料。

6 额定值

6.1 总则

6.1.1 通常,在给定的透平参考进口温度下,燃气轮机输出功率与绝对大气压力成正比,并且与空气进口温度(通常指室外的干球温度)有很大关系。同样在给定的空气进口温度下,输出功率与参考透平进口温度有关。为了确定额定值必须采用标准条件的大气温度和压力,但由于不同的运行模式要求以及

在设计基本部件时采用的准则不同,燃气轮机额定值将仍会大幅度变化。ISO 标准额定值不计进气和排气的压降,但是现场功率应考虑这些损失。

注:注蒸汽或者注水可用来增加燃气轮机装置输出功率和减少 NO_x 排放量(见 3.41)。

6.1.2 燃气轮机的性能额定值应按以下燃料的净比能进行评定:

- a) 燃气轮机设计使用液体燃料(DST.2,见附录 E 的表 E.2):42 MJ/kg;
- b) 燃气轮机设计使用气体燃料(100%甲烷):50 MJ/kg。

无论是液体、气体或者固体燃料的定压净比能是指压力在 101.3 kPa 和温度在 15℃ 条件下的净比能。

6.2 运行模式

除由采购方和制造商专门商定的特殊应用情况外,燃气轮机的净额定功率应根据 6.2.1 中规定的某一种工作类型和 6.2.2 中规定的某一种年平均起动次数等级组合起来共同规定。

示例:

B II (B 类、II 级)是指每年运行时间不超过 2 000 h 和每年的起动次数不超过 500 次。

制造商应说明在有关运行模式下所要求的检查和/或维修的类型、周期和等级(见 11.1C)。

注:某些燃气轮机可能按 6.2.1 中给出的几种工作类型组合在一起的方式运行。在这种情况下,采购方应明确说明期望的每个类型下净额定功率的年运行小时数。超出规定的净额定功率/运行模式的运行将对检查周期和维修要求有重大的影响。

6.2.1 工作类型

- A 类:在备用尖峰负荷额定功率下,每年运行时间不超过 500 h;
- B 类:在尖峰负荷额定功率下,每年运行时间不超过 2 000 h;
- C 类:在半基本负荷额定功率下,每年运行时间不超过 6 000 h;
- D 类:在基本负荷额定功率下,每年运行时间不超过 8 760 h。

6.2.2 起动次数等级

- I 级:平均每年起动超过 500 次;
- II 级:平均每年起动不超过 500 次;
- III 级:平均每年起动不超过 100 次;
- IV 级:平均每年起动不超过 25 次;
- V 级:在规定的期间内连续运行,没有为检查和/或维修而进行计划停机。

6.3 ISO 标准额定值

制造商应根据在第 4 章中定义的标准参考条件下发电机出线端电功率或者燃气轮机输出轴端功率,并结合下面运行模式来表明标准额定值:

- a) ISO 标准尖峰负荷额定值 B 类、II 级(每年平均运行 2 000 h 和起动 500 次);
- b) ISO 标准基本负荷额定值 D 类、IV 级(每年平均运行 8 760 h 和起动 25 次)。

每种情况下,制造商应说明要求检查和/或维修的类型、周期和等级。

6.4 现场额定值

现场额定值应由制造商规定如下:

- a) 发电装置:在发电机输出端上测出的,并按 GB/T 14100 中 8.1.2 规定,辅机负荷进行修正后的净电功率。
- b) 机械驱动装置:按 GB/T 14100 中 8.1.1 规定,对不是直接由燃气轮机驱动的所有辅机负荷进行修正后的净机械功率。

无论哪种情况下,现场额定值均与安装现场的规定条件(比如大气压力和温度,压力损失,注蒸汽和注水等)和装置设计的运行模式有关。

当燃气发生器单独供货时,机组在安装现场的规定条件和装置设计运行模式下(GB/T 14100—

1993, 6.3.5)运行时,它的现场功率应表达成燃气发生器排气(总压和总温)等熵膨胀至环境大气压力所产生的燃气功率。

7 控制和保护装置

7.1 起动

起动控制系统(包括预起动要求,如盘车等)有手动、半自动和自动三种形式。

7.1.1 手动起动

要求操作者手动起动辅助装置并起动主机、维持和继续执行起动程序(高速盘车、清吹、点火),使转子升速达到调速器的最小整定值,对带发电机的机组则应准备并网。

7.1.2 半自动顺序起动

要求手动起动辅助装置,但操作者应通过一次操作使燃气轮机进入全套的起动控制程序,使转子达到调速器的最小整定值,对带发电机的机组则应准备并网。

7.1.3 自动顺序起动

仅需操作者通过一次操作(手动或其他方式)即可起动辅助装置并完成燃气轮机进入全套起动控制程序,使转子达到调速器的最小整定值,对带发电机的机组则应准备并网。

7.2 升负荷

燃气轮机可以手动、半自动或自动升负荷直至达到规定的功率。自动升负荷可直接随着起动程序进行而不需要操作者任何的辅助操作。

任何一种升负荷方式,均应说明在规定负荷下的停留时间,以达到暖机的要求。

当发电机在升负荷前要求与特定的系统同步并网时,也可用手动或自动操作的方式完成。

7.3 停机

停机可以用手动、半自动或自动的方式完成。在各种情况下,其运行的主要程序见 7.3.1、7.3.2 和 7.3.3 的规定。

7.3.1 发电用燃气轮机

- a) 在同步转速下,有控制地卸载到零输出;
- b) 打开断路器;
- c) 降低转速和适当的冷却过程;
- d) 切断燃料,停止盘车不需要的辅机;
- e) 如需要则进行盘车;
- f) 停止其他辅机,如润滑油泵;
- g) 恢复到起动状态。

7.3.2 驱动机械用燃气轮机

- a) 有控制地卸载到最小负荷状态;
- b) 适当的冷却过程;
- c) 切断燃料,停止盘车不需要的辅机;
- d) 如需要则进行盘车;
- e) 停止其他辅机,如润滑油泵;
- f) 恢复到起动状态。

7.3.3 紧急停机

- a) 紧急停机应能选择手动,也能由燃气轮机的保护系统自动控制停机。系统应直接关闭燃料切断阀,切断对燃气轮机的燃料供应;
- b) 除另有规定外,应提供自动方式使被驱动装置与系统分开,以防止发电机倒拖或逆流;
- c) 也可能需要操作放气系统,以释放储存的能量;

- d) 接着应进行正常的盘车和停机程序,对装有自动再起动装置的机组,应采取措施防止不经手动复位就自动再起动。

7.4 清吹

7.4.1 当使用气体燃料时,起动控制系统应提供足够的自动清吹的时间(不管起动顺序是手动的还是自动的),以确保燃气轮机安全运行。在没有其他标准的情况下,在机组点火之前清吹过程至少应排出整个排气系统(包括烟囱)容积三倍的空气。如已采取其他保护措施,可不必清吹。

7.4.2 当使用高挥发性的液体燃料时,除清吹外有必要采取专门的保护措施,包括自动操作的燃料切断阀,但不限于此。

7.5 燃料控制

燃料供应按照一个可控开环程序进行,它应由透平温度或其他保护装置进行越限控制。

7.6 定转速(恒速)

对于定转速运行的燃气轮机(特别是燃气轮机发电机组有时需用无差转速调节)必须安装感受输出轴转速的调速器。在运行中空载转速应能在 95%~105% 的额定转速范围内调整。如果采购方另有要求,可与制造商商定。

在遥控发电机组同步运行时,调速器应能在 40 s 内将最大现场额定输出功率减少到零。但具体所需时间应由采购方决定,以便与其他作并列运行机组的调速器协调一致。

7.7 变转速

对要求在一定范围内变速运行的燃气轮机,例如用作船舶推进,应提供相应的控制设备。

7.8 调速器

驱动机械用燃气轮机的调速器在所有稳定负荷工况下,应能把输出转速限制在 105% 额定转速范围之内。发电用燃气轮机,在规定的大气状态下,设计的燃料压力、温度和燃料热值所决定的功率极限范围内运行,其调速器整定并控制在额定转速时,调节系统应能防止燃气轮机在达到甩负荷时瞬间跳闸转速。如果采购方另有要求,可与制造商商定。

7.9 燃料调节阀

在燃气轮机任何停机状态下,燃料调节阀(见 3.26)应返回到最小位置。

7.10 燃料切断

7.10.1 除燃料调节或控制阀外,燃料调节系统应安装一个单独的截止阀或切断阀,使在停机时可切断燃气轮机燃料供应,而在起动过程中,全部点火条件未得到满足以前阀门不予打开。

7.10.2 对于发电机组,应在燃气轮机或发电机上提供当燃料截止阀关闭时防止发电机倒拖的装置。如果装有同步补偿装置,这些要求可以不考虑。

7.10.3 对于气体燃料,应使用适当的排空阀,以减少燃气轮机停机后气体燃料漏至燃气轮机内的危险。

7.11 超速控制

在每根独立的轴系上都应配备超速调节器和超速遮断装置,除非能说明在实际应用中不可能出现超速危险。

7.12 超速控制的手动检查

应备有能使操作者对超速调节器或超速保护装置进行手动检查的装置。

注:这种检查应尽可能在不停机又不暂时失去保护作用的条件下进行。

7.13 超速整定

超速调节器或超速遮断装置应整定到:在任何突然甩负荷情况下,飞升转速不会超过轴系的最大安全极限。它们的主要作用是不依赖主调节器而使在靠近燃烧器处减少或切断燃料。

7.14 飞升转速

燃气轮机,特别是在多轴燃气轮机中,某一轴系可能因甩负荷而需承受很大的加速度。虽然超速遮

断装置已动作,但转速可能继续升高,其飞升转速甚至比遮断转速大得多。此后燃气轮机应无须检查仍能继续正常运行,还应注意保证所有连接设备包括用电气、机械或液压方式相连接的辅机等,也均能承受相应的超速。

7.15 附加超速保护

对分轴燃气轮机或带热交换器的燃气轮机可能需要附加超速保护,以防止机内贮存的热量或大量贮存的高压空气(或两者皆有)所造成的超速。这种保护可采取例如排气阀或负载电阻的形式,它们的动作是由主调速器或超速保护装置(或两者同时)控制。

7.16 熄火保护

机组应提供一个熄火时切断燃料的装置。

7.17 燃料越限控制

燃料调节系统,应包括一个越限控制系统,以防止超过透平额定进口温度,如果更为严格的限制,则要防止超过燃气发生器的最大转速。

7.18 迟缓率(死区)

额定转速和最大输出功率范围内(包括最大输出功率)的迟缓率不应超过额定转速的 0.1%。

7.19 转速调节系统的稳定性

7.19.1 当燃气轮机在零功率和最大功率之间运行时,转速调节和燃料控制系统应能稳定控制:

- a) 机组单机运行时的燃气轮机转速;
- b) 多台机组并列运行时进入燃气轮机的燃料量。

在某些情况下要对上述 a)、b) 两项的同时控制,也要求运行稳定。

7.19.2 在下列情况下,调速和燃料调节系统认为是稳定的。

- a) 机组在持续负荷指令下运行,由转速调节系统和燃料控制系统所引起的燃气轮机转速的持续波动幅度不超过额定转速的 $\pm 0.12\%$;
- b) 多台机组并列运行在额定转速和持续负荷下,由转速调节系统和燃料控制系统所引起的燃料输入量持续波动导致的功率输出的变化不超过额定输出功率的 $\pm 2\%$ 。

对大功率燃气轮机,通常允许的波动值预计更低些。

7.20 温度控制系统的稳定性

多台机组并列运行,而燃气轮机在按当时环境条件下整定的温度控制范围内运行时,温度控制系统和燃料控制系统应能稳定地控制燃气轮机的温度。

多台机组在定转速下并列运行时,由于温度限制或控制系统和燃料控制系统所引起的燃气轮机燃料能量输入的持续波动导致的功率输出产生的变化不超过额定输出功率的 6%,即认为温度限制或控制系统和燃料控制系统是稳定的。

7.21 整个系统的稳定性

在某些燃气轮机所驱动的设备及与其相关联的系统中具有越限控制性能时,则 7.19 和 7.20 中的稳定性判别准则可能不能达到。

7.22 润滑油系统

燃气轮机主轴若采用液压轴承,则轴承润滑油至少要有两台油泵提供,而这些油泵动力源应彼此独立。当一台油泵提供的滑油压力低于制造商规定的安全值,则另一台备用油泵应自动投入工作。此外,还应考虑应急情况下的润滑措施。

7.23 轴承温度

凡带有液压轴承的燃气轮机应装有温度监测器,该监测器除可测量轴承温度和/或回油温度外,并能使报警装置和跳闸装置同时或分别动作。

7.24 压气机进气压降过大和压力波动

进气系统的设计应考虑由进气过滤器堵塞或结冰所造成的压降,以及因压气机的瞬时喘振造成的

异常工作状况而引起的压力波动。

7.25 燃料泄漏

对燃料泄漏的监测应加以考虑。

7.26 振动监测系统

如果采购方要求,应提供适用的振动监测系统。

7.27 其他安全要求

附录 A 中给出了在投标阶段应考虑的其他安全方面的资料。

8 燃料

8.1 概述

由于燃气轮机可设计成燃用气体燃料、液体燃料和/或固体燃料,并在带负荷时切换或不切换燃料,因此采购方应提供下述资料(见 10.7):

- a) 推荐使用的燃料的所有特性和化学分析,包括预计的杂质含量和燃料成分可能变化的范围;
- b) 推荐使用的燃料处理方法及其相应规范;
- c) 要求燃料切换时,负荷和转速切换的条件,燃料切换顺序及其他有关运行要求。

如果采购方拟用燃料的规范不能为燃气轮机制造商所接受,那么制造商应将能够接受的燃料所含杂质的限值和可接受的燃料成分变化范围通知采购方。

8.2 气体燃料

8.2.1 性质

因为气体燃料中所含液体可能对燃气轮机产生危害,燃料应当从进入燃气轮机的燃料管接口起至燃料喷嘴止均为气态。为此,需要装设分离器或其他专用设备,如加热器。

制造商应将可以允许的气体燃料的温度和压力的最高和最低值以及气体燃料含固体粒子所要求的净化程度告知采购方。

8.2.2 腐蚀性介质

对于可能存在于气体燃料中的已知腐蚀性介质,诸如硫化氢、二氧化硫、三氧化硫、总硫、碱金属、氯化物、一氧化碳和二氧化碳,在分析中应给予特别注意。

8.2.3 比能(热值)

采购方应将气体燃料的成分和净比能或将能够计算出净比能的资料告知制造商。如果预计在稳定运行期间净比能将偏离规定值,采购方应给出其变化范围和变化速率,以便配置保证燃气轮机正常调节所要求的专用设备。如果净比能的变化范围不能接受,那么制造商应将可以接受的限值告知采购方。

附录 E 给出了气体燃料比能的补充资料。

8.2.4 供气压力和温度

气体燃料供应压力和温度及其波动的幅值和周期应由采购方提出。若这些波动不能接受,制造商应将可接受的范围通知采购方。

附录 E 给出了气体燃料的有关补充资料。

8.3 液体燃料

8.3.1 性质

燃气轮机可能燃用从最高级的航空燃料到最低级的锅炉燃料的各种液体燃料。然而,并非所有燃气轮机都设计成可燃用范围如此广泛的液体燃料,而且所用液体燃料的性质不但会严重影响燃气轮机装置的投资成本还要严重影响其运行和维护。

因此,采购方和制造商之间应根据燃料的供应情况与燃气轮机运行情况就燃料的规范达成协议。制造商应提出有关燃料所含固体粒子净化程度的要求。

8.3.2 液体燃料等级

经采购方与制造商双方商定,可以使用符合地方认可的或其他组织批准的规范,并且适用于燃气轮机的液体燃料。

考虑到为某些类型和用途的燃气轮机所必要的附加的或更严格的要求,可以规定更严格的燃料规范、附加性质和/或必需的燃料处理方法。

ISO 4261 介绍了燃气轮机对石油型燃料的要求。附录 E 收录了介绍燃气轮机燃料详细要求的 ISO 4261 的表 1。

8.4 固体燃料

固体燃料可以按如下几种形式应用到燃气轮机中:

- a) 直接注入煤粉或煤浆(水煤浆或油煤浆)燃烧;
- b) 采用增压流化床燃烧系统(PFBC)直接燃烧;
- c) 通过一个外燃式空气加热器间接输入热量;
- d) 煤或其他固体燃料通过鼓入氧气或空气的气化工艺进行气化。

注: a)、b)和 d)都应要求控制颗粒状物,以防磨蚀。

可把燃气轮机及其联合循环与气化工艺流程结合为一个整体,获得最优化的总体热效率。

用于燃气轮机的燃料特性应由燃气轮机制造商和燃料供应商商定。

在燃气轮机中应用固体燃料的问题同蒸汽锅炉中产生的问题虽然不完全一样,但很类似。由于各种固体燃料的物理、化学特性差异极大,使问题错综复杂,不易给出对燃料的具体要求。故只能是采购方和制造商间就使用固体燃料的种类达成一致协议。

注: 燃气轮机应用的固体燃料及其衍生物方面的技术正在研究中。

8.5 核燃料

用核反应堆作为闭式循环燃气轮机的热源,在经济上是有益的。这将涉及利用惰性气体(如氦气)作为循环工质。

按照反应堆的设计和工作原理,对燃气轮机和换热器的污染,以及那些少量气体(水蒸气、氢、一氧化碳和二氧化碳等)对循环中各部分的腐蚀问题,都要予以特别注意。

因此,当需要设计闭式循环核燃气轮机装置时,核反应堆和燃气轮机的制造商必须与采购方联合对燃料要求进行全面的讨论。

9 环境

9.1 概述

本节涉及振动和影响燃气轮机运行人员及燃气轮机电厂附近居民的那些环境因素。这些环境因素包括噪声、大气污染、热污染和场地污染。地方认可或在标准或规范基础上相互商定的准则优先于本节中提出的准则,在无此类标准或规范可用的地方应考虑本节中提出的准则。

9.2 振动

9.2.1 振动影响机组的可用性和安全性,在 GB/T 11348.1(idt ISO 7919-1 和 GB/T 11348.4(eqv ISO 7919-4)(见附录 F)中介绍了振动的测量方法及其说明。GB/T 11348.1 提供了一种通过其转动轴上的振动测量值更清楚地表示振动特性的测量和评估振动特性的方法。GB/T 11348.4 介绍了在燃气轮机装置的联接轴系统上测量轴振动的手段。

ISO 2372(见附录 F)规定了另外一种评估设备机械振动的基本原则,它仅测量静子部件(即轴承座)的振动特性。

如果燃气轮机振动水平超过预定的安全界限,燃气轮机机组应立即停机。

9.2.2 振动测量在轴、轴承座和气缸上进行。这些零件的设计细节,包括质量、刚性和可接近性,决定了振动测量的最有效位置。本标准没有规定振动界限值。制造商应当保证振动界限与已确定的运行性

能相适应(见 11.1)。

9.2.3 燃气轮机系统是否能达到预计的功能,通常取决于对系统各部件振动特性的详细了解。这些部件包括轴、轴承、轴承座、气缸、罩壳、管路、附件,特别是内部的动、静叶片、轮盘和转鼓等。很显然,这种了解对于制造商来说是极其重要的。然而,当部件由几家制造商提供时,建议采购方设法取得整个系统弯曲和扭振特性的分析资料。如果分析结果指出在预期的运行工况范围内有一个难以处理的自然振型,在允许进行矫正操作时,部件顾问或制造商通常都能提供这种服务。

实践证明,尽管旋转机械的各部件在未联接前(如在工厂试车时)运行皆正常,但通过与轴及基础连接起来后仍可能产生剧烈的振动。

9.2.4 过分强烈的振动会引起设备和建筑物的严重危害。振动也是一种噪声源。

9.3 噪声

注:ISO 10494(见附录 F)是关于进气口和排气口附近的噪声排放问题。9.3.1~9.3.3 中给出的资料可以用作暂行导则。

9.3.1 概述

不同的人对给定的噪声级的敏感程度是不一样的。诸如噪声的频率、强度、方向性和持续时间等因素都对承受有害噪声的耐受性有影响。过高噪声级的噪声可以使人遭受损伤,而低噪声级的噪声虽对人无害,但会引起邻近建筑物内人员厌烦。因此,用户必须要确定燃气轮机机房内(如果运行人员通常或频繁地出现在其中)和燃气轮机动力装置所在附近区域内可以接受的噪声级。除燃气轮机外,其他与其相关的设备如鼓风机、起动柴油机、变压器和发电机等也会产生噪声。由于旨在降低噪声级的消声装置和消声厂房的设计将增加整个动力厂基建费用,所以要综合考虑人的健康,操作者之间可以对话,以及对邻近的建筑物内的居民造成有害影响等因素制定可接受的噪声级。

燃气轮机制造商的噪声规范应适用于交货中所包括的整个装置。

为了满足设计要求,用户和制造商应在确认对噪声级有影响的环境因素的同时,汇总所有噪声源进行设计,降低噪声的布局 and 措施应相互协调。

9.3.2 燃气轮机机房内的噪声级

如果运行人员在机房内部操作,则消声处理的程度和范围应使燃气轮机装置直接相邻的工作区的噪声级降低到相应国家标准所规定的数值。如果没有相关标准,ISO 10494 给出了确定相应噪声级的指导值。

如果机组平常无人操作,则在机房内允许用护耳器,但在控制室里要能正常谈话。

9.3.3 燃气轮机机房外的噪声级

应限制噪声的产生,以防噪声干扰附近地区,并满足地方管理机构的要求。

采购方应当规定所要求的噪声级,并指出是否应为附近可能出现的居民区增设消声装置的可能性。同样对消声设备的寿命也应加以考虑。

周围乡村、居民区等在声屏障和回声作用下的影响也应加以考虑。

噪声级要求规定为:在离装置规定距离的任何一点处不能超过某一个确定的最大噪声级。此要求也可就一定地点或一定的方向作出规定。

应确定各处噪声级的要求,以便检查。测点与装置之间的距离不得大于能对背景噪声便于校正的允许距离。

上述要求应包括以 dB(A)为单位的最大噪声级或频率分布,例如符合国际标准和/或其他任何一种免受干扰声影响的标准的 NR(噪声额定值)一图表。

在签订合同之前应就噪声测量的方法取得一致意见。

在测定噪声前应测量背景噪声,并应对可能存在随时间变化的情况加以考虑。

气象因素对噪声的传播有严重影响,为此,应考虑在合同中详细说明需检验噪声级的地方及预期出现的气象条件。

对测量误差应加以具体规定。

ISO 10494 中标明了户外环境可接受的噪声级的指导值。还给出了噪声测量的一些说明。

9.4 大气污染

9.4.1 烟

应按公认的或双方同意的烟囱排放物试验方法进行试验,附录 B 中给出了现有试验方法的资料。

如果用户对排烟限值有要求,则应以巴克拉奇法(Bacharach)或双方可以接受的等效方法在如下工况下进行规定:

- a) 稳态工况,或
- b) 一个给定的负荷工况,或达到各种给定负荷工况后 5 min 的工况。

注:其他适用的排烟测量的方法正研究中,以后将在附录中给出。

9.4.2 化学污染

除了光反射特性外,必须按国家或当地有关标准确定所允许的燃气轮机排气化学污染程度。

燃气轮机动力装置产生的有害气体比汽油机或柴油机小。但在飘烟雾地区,未燃烧的碳氢化合物和氧化氮、氧化硫能引起严重的大气污染。一般这些粒子虽具有亚微尺寸,但是它们提供了凝结点或核心而产生烟雾。

如果为了消烟或防止渣油腐蚀而使用燃料添加剂,则烟囱排放物中包含有害化学物质的可能性更大。这应按照地方规范加以检查。

9.4.3 氧化氮总含量

应按公认或双方同意的试验方法来确定燃气轮机排气中氧化氮的总含量(见附录 C)。注水或注汽是减少氧化氮排放量的一种方法,但在这种情况下必须指明耗水率。

9.4.4 大气的热影响

在没有排气热量回收装置的简单循环燃气轮机中,烟囱排气的温度通常比其他形式的燃用化石燃料的动力装置高,因而排气有更大的浮力和更快的扩散能力。排气与周围空气的迅速混合,将使混合气的温度在几倍于排气管直径的距离内显著地降低。如果有大量的燃气轮机位于机场飞行通道附近的情况,必须分析由排气诱发的气流紊流可能引起的有害影响。

9.5 水的热影响

大多数燃气轮机需用冷却水量不大或不用,因此不会使河水和湖水过多受热。通常用冷却水冷却动力装置的润滑油,但是完整装备的机组则常用水-空气换热器带走这部分热。如果采用压气机预冷器或中间冷却器,那么冷却水量将需大大增加。

9.6 场地污染

发电设备场地上的土建工程设计,应能在设备一旦运行失常、发生火灾或发生故障时对场地周围提供安全保护。应按有关标准或规范把燃料贮存或处理设备可能的泄漏,以混合物的形式收集起来。

应提供废料处理方法。这些废料包括机组起动失效而排泄的燃料,由偶然泄漏和溢出的燃油或水所污染的润滑油。场地的选择应考虑当地主要风向和排烟被吸入邻近建筑物的可能性。

10 询价时采购方应提供的技术资料

10.1~10.10 列出了询价时采购方向制造商提供的详细资料。如果方便的话,本章要求的资料由用户以数据表格的形式提供。

10.1 被驱动的设备

发电机、泵、压缩机等。

10.2 用途

固定式、移动式、船用、机车用等。

10.3 供货范围

采购方应说明制造商应承担的责任范围并规定供货范围,包括制造商与其他供货商供货之间的接口。例如,典型的制造商应承担的责任范围和供货范围应该包括设备供应、交货时间、安装、试验和保证条款等。

10.4 环境

- a) 海拔高度或大气常压、对应的湿球和干球空气温度与冷却水进口温度(包括平均值和极限值),以及最热和最冷季节大气温度每天随时间变化的温度曲线。应提供平均湿球温度和经验的温度变化范围或相对湿度,推荐用前者;
- b) 影响空气纯度的环境特性以及由于泥土、灰尘或盐份和其他环境条件可能引起污染的因素,例如电厂是否在工业区、郊区或海滨、易发生尘暴或冰雾的地区;
- c) 影响排气散发和噪声抑制的环境特性,例如无烟区、靠近居民区,燃气轮机应遵守有关的法规、供电要求与标准、噪声级标准、排烟标准等(见第9章);
- d) 有关机组安装在炼油厂、煤气厂或火药厂等有火警危险的特殊要求的详细资料。

10.5 场地细则

- a) 说明机组安装地点是室外或在新建或现有厂房内,已有或待装采暖设备,是否要求制造商提供厂房或罩壳;
- b) 可供安装的空间,包括机房尺寸和基础深度的限制等;
- c) 可运输到现场和可装卸的部件的最大尺寸和质量(重量);
- d) 基础设计所要求的资料,包括场地特性、土壤承载能力、地下土层情况以及振动传播;
- e) 预计的风荷载或风级、降雪量、降雨量、地震带,以及移动式、船用或机车用燃气轮机冲击载荷G值;
- f) 进入现场的详细情况,例如水路、铁路或公路,以及卸货地点到最终安装处的距离;
- g) 控制室内和电厂内其他指定区域要求的噪声等级。泵的燃气轮机,用控制转速的方法使其输出压力保持不变)及对润滑油的要求(如果用燃机主滑油系统供油)的详细资料;
- h) 如果燃气轮机排气至非燃气轮机制造商提供的余热锅炉,采购方应提供余热锅炉(包括烟道)的压降,并说明是否需要设置锅炉旁通烟道。

10.6 预期的工作状态

- a) 现场额定值及其要求的环境条件;
- b) 机组最大输出功率时的环境温度(包括冷却介质进口温度);
- c) 预计年运行小时数、连续运行时间和起动次数,以及平均负荷,尖峰负荷的范围和持续时间(见6.2.1和6.2.2);
- d) 与要求的运行状态有关的其他资料,如无电源起动,在正常和紧急情况下从停机到满负荷所需最短时间和机组在规定的运行转速范围内的功率等;
- e) 与驱动机械并列运行的其他机械的详细资料;
- f) 对于发电机,则应包括相数、推荐的发电机冷却方式,是否要求作为同步调相运行以及在正常工况和不正常工况下的有关数据,如电压、频率和非正常频率下的持续时间;

注:考虑到可能遇到极低温度,应配备更大功率的发电机以利用燃气轮机在低温环境下发出的额外功率。

- g) 如果被驱动机械非燃气轮机制造商供货,采购方应提供该机械的性质、特点(例如故障情况、转速、旋转方向、转速变化范围、转子轴向推力),以及被驱动设备的起动扭矩、低速度扭矩和转动惯量。此外,还需提供所有特殊控制要求(例如用于驱动压缩机或泵的燃气轮机,用控制转速的方法使其输出压力保持不变)及对润滑油的要求(如果用燃机主滑油系统供油)的详细资料;
- h) 如果燃气轮机排气至非燃气轮机制造商提供的余热锅炉,采购方应提供余热锅炉(包括烟道)

的压降,并说明是否需要设置锅炉旁通烟道。

10.7 燃料

- a) 提供所用燃料的全套技术规范(见第8章);
- b) 如需要,可能需提供所用燃料的价格,便于针对要求的工作状态分析最经济的燃料和循环,来权衡资本和运行成本。

10.8 冷却水

所用冷却水的类型、数量、温度及化学分析(例如干净的淡水、海水、水量充足、水量有限,只够用于冷却循环的补给水),以及压头、费用(如果需要的话)和排水温度的限制。

注:水可供给预冷器,中间冷却器、发电机冷却器、润滑油冷却器、压气机和透平的清洗、或原油和渣油燃料的处理。

10.9 辅助动力源

现场辅助设备如起动电机、润滑油泵等所用动力(电源、液压源、气压源)的详细资料。

10.10 特殊要求

- a) 对燃气轮机的要求:
 - 1) 有人看管或无人看管;
 - 2) 现场控制、遥控或自动控制。
- b) 是否要求燃气轮机具有变工况运行功能;
- c) 推荐选用的润滑油;
- d) 按 GB/T 14100—1993 规定所要求的选项试验的详细资料;
- e) 在无需额外维护和/或动力供应的情况下,预计的最长持续运行时间。

11 投标时制造商应提供的技术资料

投标时制造商应向用户提供 11.1~11.6 条的详细资料。如果方便的话,制造商应把本章要求的技术资料以数据表格的形式提供。

11.1 一般资料

- a) 应提供一份与采购规范书中规定有差异的详细清单,如果没有,将被认为制造商的投标建议书将完全响应采购规范书。建议书对采购规范书报价的标准有差异的内容应给予特别说明;
- b) 性能指标应包括如下资料,但不仅限于此:
 - 1) 现场额定值:在明确指明的环境条件下的功率输出(见 11.1i);
 - 2) 在 100%、75%和 50%现场额定功率下,按照燃料净比能预计的热效率或燃料消耗率,以及按在 10.6 f)中采购方规定的条件下同步调相运行和旋转备用时的功率损耗和热量消耗值;
 - 3) 压气机进气流量或透平出口排气流量;
 - 4) 透平进气或排气温度。
- c) 说明主要部件预计的更换周期,相关运行模式(见 6.2 和 6.3)所要求的检查和/或维修类型、周期和等级;

注:主要部件的寿命难以估计,并且随运行模式、现场条件、燃料种类等的不同而变化。

- d) 其他因素:
 - 1) 各轴的转速;
 - 2) 输出轴的旋转方向;
 - 3) 最低连续空负荷转速;
 - 4) 临界转速或复合共振转速(有资料则提供)。
- e) 主要特征,如循环配置、参考透平进口温度、压比、流量、压气机级数、透平级数、是否有分轴动力透平、中间冷却、再热或热交换器;

- f) 起动方式、快速起动的要求、达到额定转速的时间、达到额定输出功率的时间,以及起动前和停机后的盘车时间;
- g) 如果是气体燃料,给出要求的压力;
- h) 转速变化:
 - 1) 由满负荷突然甩负荷其输出轴的瞬态和稳态转速升高值;
 - 2) 按照 10.6d) 采购方规定的负荷变化所引起的瞬态和稳态的转速变化。
- i) 环境温度对输出功率影响的曲线包括最大功率在内的限制;同时如果可能,提供大气压力的修正,各种压力损失的修正,以及机组热效率或燃料消耗率随环境温度的变化,燃气轮机超负荷和转速范围运行的限制,以及与输出功率和输出轴转速相关的曲线;
- j) 为采购方提供确定通风和冷却要求的足够资料,包括热散失率资料;
- k) 如果余热回收系统属于机组组成部分,那么制造商应给出与给定背压有关的排气温度和/或燃气流量的允许变化值;

如果配置的余热回收设备不是燃气轮机制造商提供的,那么制造商应提供在给定环境条件下的排气流量、温度和压力的详细资料,以及它们随大气压力、温度和排气背压变化的详细资料;
- l) 推荐的润滑油种类和消耗量;
- m) 需用冷却水量和其他辅助供应,如压缩空气;
- n) 各承包商接口的说明;
- o) 采购方按 10.4 的现场条件,起动、运行及空载阶段要求和特殊保护;
- p) 如果被驱动的设备是由燃气轮机制造商提供的,则应提供主要资料,包括说明书、性能、尺寸、质量、油润滑系统等;
- q) 若采购方本身提供起动设备,制造商则应提供燃气轮机的起动扭矩/转速特性曲线;
- r) 制造商与采购方商定后,应提供部件的交货次序及装箱情况。选用的冷却介质的性质和状态(见 10.8)。

11.2 质(重)量和尺寸

- a) 净质(重)量[指不包括液体的净质(重)量,但包括运行所必需的辅助设备或连接非必需辅助设备的传动装置];
- b) 其他因素如下:
 - 1) 安装时要起吊的最重部件的质量(重量);
 - 2) 大修时要起吊的最重部件的质量(重量);
 - 3) 最大部件的外形尺寸;
 - 4) 安装时所需吊钩的最大高度(吊钩与基础表面距离);
 - 5) 大修时所需吊钩的最大高度(吊钩与基础表面距离)。

11.3 图纸

11.3.1 投标时应提供下列图纸:

- a) 初步的厂房设备布置图和有关技术文件;
- b) 标有外形尺寸和拆装空间的燃气轮机外形图;
- c) 标有进、排气口位置的外形尺寸图及要求用户配备专门支承和支承设备的有关技术资料;
- d) 初步的基础要求。

11.3.2 投标时还应提供下列图纸:

- a) 燃气轮机的剖面图;
- b) 润滑油、燃油、冷却水、控制气等管路和仪表图(P&ID);
- c) 控制系统图。

11.4 环境

- a) 若采购方要求,投标商应根据第9章列出预计的机组噪声声压级数据;
- b) 若采购方要求,投标商应根据第9章列出预计的排气成分和烟气排放量。

11.5 辅助设备

- a) 列出燃气轮机所需辅助设备清单(其功率允许量已计入制造商现场额定功率中,且它们是燃气轮机运行所必需的),例如:
 - 主润滑油泵;
 - 燃油泵;
 - 风冷式冷油器的风扇;
 - 循环水泵等。
- b) 列出其他辅助设备清单(无论是由燃气轮机驱动的还是其他动力驱动的),并注明功率和电压,例如:
 - 辅助润滑油泵;
 - 辅助燃油泵;
 - 备用风冷式冷油器的风扇;
 - 备用循环水泵;
 - 蓄电池充电器;
 - 盘车机构和顶轴油泵;
 - 起动设备等。
- c) 制造商随燃气轮机提供的其他设备和材料清单,例如:
 - 主减速或增速齿轮装置;
 - 垫铁、支承台板、地脚螺栓;
 - 常规排气管道;
 - 常规进气管道;
 - 控制柜和仪表;
 - 燃油过滤器;
 - 润滑油过滤器;
 - 润滑油箱;
 - 润滑油冷却器;
 - 润滑油净化装置;
 - 工具、起吊装置;
 - 管路;
 - 蓄电池;
 - 主要备件,例如点火器;
 - 备件清单;
 - 使用手册;
 - 外部绝热材料;
 - 主要保护装置清单(包括控制设备)。
- d) 制造商生产或通过制造商提供的附加设备的清单,例如:
 - 排气消声器;
 - 空气过滤器或消声器(或两者兼有);
 - 厂用电发电机;
 - 附加管道和有导流片的弯管;

- 燃油箱和润滑油箱、泵、加热器、处理设备和管道；
- 透平或压气机清洗设备；
- 平台、栏杆；
- 推荐的附加备件；
- 监控设备等；
- 气体燃料压缩设备；
- 防火系统；
- 公用设施要求(如压缩空气、水等)。

11.6 维护

制造商应为采购方提供预期的有关燃气轮机系统维护要求方面的技术资料。作为指导,典型的维护资料见附录 D。

附 录 A
(规范性附录)
安 全 措 施

警告——压气机喘振是一种危险的运行工况,因此在所有预期的运行条件中都应避开产生喘振工况。

在所有动力装置(包括燃气轮机动力装置)中安全措施极为重要¹⁾,这是对人和设备提供安全保护所需要的。应注意如下安全要点:

- a) 使火灾危险减至最小并采取切实可行的防火措施;
- b) 控制系统的设计能防止发生不安全工况(转速、温度、振动等)(见第7章);
- c) 采用报警系统以警告不安全运行工况(见第7章);
- d) 为了保护运行人员和设备,应采用适合的安全跳闸装置(见第7章);
- e) 在燃气轮机运行时,如果运行人员要接近燃气轮机,为防止人员不慎接触危险零部件,应提供防护装置、隔热绝缘、栏杆等措施;
- f) 维修人员应有合适的起吊设备和工具,对重型设备包括索具或组合工具、吊具、起重机和行车的安全操作特别需要注意;
- g) 发电装置的设计要把润滑油、液压油和燃油泄漏引起的火灾可能性降到最低(应特别注意使任何潜在泄漏限制于局部范围);
- h) 应对要接近正在运行的发电装置的任何现场人员提供充分的通风和离开现场的条件,另外还要对在封闭区域使用二氧化碳防火系统能对操作人员产生危险的实情给出识别标志;
- i) 在运行期间应遵守制造商规定的在燃气轮机罩壳内工作的注意事项;
- j) 为防止非正常声级噪声对运行人员的损害,应戴上护耳器;
- k) 运行和维修人员应备有动力装置安全运行和维修的规程;
- i) 燃气轮机保护设备相互之间的关系及其对其他动力装置或系统设备可能产生的影响(见第7章)。

1) 必须要遵守国家和地方安全法规。

附 录 B
(规范性附录)
排 烟 测 量

B.1 概述

B.1.1 烟度

在正常维护情况下,烧气体燃料的燃气轮机的排气中宜没有可见的烟。因为仅仅 0.1% 或低于 0.1% 的未燃尽炭粒即可产生浓烟,所以烧液体燃料的燃气轮机排气中的烟容易使人误解。现有的测试技术已能定量地测定烟含量,其中包括不可见的烟含量。控制烟度的规范应考虑瞬态和稳态两种要求,烟度在下列情况下是关键:

- 点火;
- 空负荷;
- 满负荷;
- 停机。

B.1.2 烟点数

燃气轮机的烟度等级可用烟点数,即巴克拉奇数来规定,烟度的度量范围从 0~9 分成 10 档,其低档与烟度的对数低值相对应。烟点数在可见烟的最低能见度附近提供了良好的分辨率。

B.2 给出巴克拉奇排烟测量法的资料。

B.1.3 冯布兰德反射烟数

冯布兰德反射烟数是规定烟度的另外一种方法。冯布兰德数允许连续取样,因此可对燃气轮机进行瞬时观察。表 B.1 列出了冯布兰德数和烟点数之间的对应关系。

表 B.2 给出了预计公众对燃气轮机排烟的反应。

B.2 燃气轮机排烟测量烟点法(巴克拉奇法)

B.2.1 引言

本条提供了采用烟点法对排气压力从负压到高正压(例如燃气发生器)范围的燃气轮机排烟进行测量的试验设备和试验程序的资料。该试验程序用于测定和报告烟排放量,并建立一个统一的标准方法。

提供资料如下:

- 术语和定义;
- 设备;
- 试验程序;
- 要记录的信息和数据。

B.2.2 定义

B.2.2.1 烟

包括但不限于燃料燃烧产生的黑色碳素物质的微小气载粒子,其浓度足以产生明显的不透明度。

B.2.2.2 采样

在控制条件下收集排气的样品以供分析。

B.2.2.3 试验用过滤纸

用于收集排气样品中烟粒的特殊过滤材料。

表 B.1 冯布兰德数和烟点数的近似对照

烟点数	冯布兰德反射烟数
0	100
1	99
2	97
3	93
4	89(可见范围)
5	82(可见范围)
6	74(可见范围)
7	67(可见范围)
8	56(可见范围)
9	0(可见范围)
注：为使表中的比较有效，冯布兰德反射烟数采样速度是每平方米过滤纸面积流过 4.74 m ³ 烟气流量，而烟点数的采样速率是每平方米过滤纸面积流过 57.2 m ³ 烟气流量(烟点数定义参见 ASTM D2156-80 ¹⁾)	
1) ASTM D2156-80:1988 燃用蒸馏油的燃气轮机烟道排气烟度的标准测量方法。	

表 B.2 预计公众对燃气轮机排烟的反应

烟点数	冯布兰德反射烟数	公众反应
0~3	100~90	没有，看不见烟
4~5	90~80	可接受，符合地方标准
6	80~70	偶尔有怨言
7~8	70~60	怨言很多，引起社会反应
9	低于 60	立即的、强烈的社会反应
注：同表 B.1。		

B.2.3 设备

图 B.1 示出采样系统的示意图。

B.2.3.1 采样探头

内径为 9 mm~10 mm。至少应有 5 个 2.54 mm 直径的孔沿着长度定间距布置，使得在横穿排气管时，每个孔对相等面积的排气流取样。

探头建议不冷却，但如果为了使探头结构上完好而必须进行冷却时，要控制冷却剂的流量，使采样气体的温度不降至 100℃ 以下。

探头材料应当是不锈钢或镍基合金钢。

B.2.3.2 采样管

直通的，没有曲折或环路，没有半径小于 10 倍管径的弯道。采样管内径应为 9 mm~10 mm。从探头出口到阀 A 的采样管路距离应尽量短，不得大于 30 m。管材应为不锈钢或黄铜。采样管和采样箱应进行加热(用电或蒸汽)，并包上保温材料，保证采样气体保持在 100℃~150℃ 范围内，以防止采样气体在管内任意部位冷凝和滤纸过热。

B.2.3.3 阀门

阀门 A 和阀门 B 应为节流阀，通过它们在烟气采样箱内建立采样压力。调整阀 A 使采样箱内产生的冲击最小。

B.2.3.4 采样箱

它用作稳定流动状态的集气室。图 B.1 是采样箱的示意图。图 B.2 示出了详细要求。

B.2.3.5 温度测量元件

应能在采样箱进口测量气体样品温度。

B.2.3.6 真空泵(如果需要)

在阀 A 完全打开、阀 B 关闭时,用真空泵能在烟气采样箱内造成 1.2 kPa~2.5 kPa 压力。泵应是无油型的,以避免可能污染烟气样品。

B.2.3.7 巴克拉奇泵

在 15℃、100 kPa 条件下,对每平方厘米有效滤纸面积提供 $5\,680\text{ cm}^2 \pm 250\text{ cm}^2$ 总容积流量。

B.2.3.8 巴克拉奇烟度计

由 0~9 依次相连的 10 个烟点数组成,对应从白色经过深浅不同的灰色直到黑色以等光度分隔成的 10 档。它们是用印刷或其他方法加工在白纸或塑料片上,白纸或塑料片的绝对表面反射率(用光度计测定)为 82.5%~87.5%。烟点数的定义是:入射光经反射后(由烟引起的)光通量减少的百分数除以 10。

B.2.3.9 试验滤纸

白色,由光度计测定其表面绝对反射率为 82.5%~87.5%。作反射率测定时,滤纸必须用表面绝对反射率不低于 75%的白纸作背衬。当标准状态下清洁空气以 $47.6\text{ m}^3/\text{min}$ 的流量通过 1 cm^2 有效表面积清洁滤纸时,通过滤纸的压降应在 1.73 kPa~8.55 kPa 之间。

B.2.4 清洗和泄漏检查

如果自上次清洗以来运行已超过 5 h,在采集烟样前要充分地清洁探头和采样管路。建议把合适的溶剂注入探头和管路,然后再用清洁干燥的压缩空气吹 5 min,以除去管路内任何残留溶剂。在空气吹过管路时要接通管路加热器。

在进行任何烟气采样前,采样管路和接头的连接处要进行泄漏检查。

B.2.5 试验程序

B.2.5.1 注意事项

受测烟样是由低微或亚微(或两者兼有)尺寸的团聚粒子组成的。应采取措施以保证在采样前发动机达到稳定工况。

为了防止物质聚积在采样系统中,探头不用时应取出。

B.2.5.2 探头定位

探头应穿过发动机排气道中心放置,使采样孔面向上游。其位置应在动力透平下游,距离至少为两倍排气道直径,并且距离排气道的任何弯道部分不小于两倍排气道直径。

B.2.5.3 在每一给定功率下采样的准备

在确认 B.2.4 中提出的泄漏检查和清洗工作完成以后,在每一给定功率下进行下列程序,使系统作好采样准备:

- 完全打开阀 A,并按需要调节阀 B,使采样箱压力在 1.2 kPa~2.5 kPa 之间。根据排气压力是否合适决定是否使用真空泵;
- 确保进入采样箱的烟样温度在 100℃~150℃ 范围内;
- 允许烟样流动 5 min;
- 在巴克拉奇泵中夹上一张滤纸,并确保牢牢地夹住,即不会脱开;
- 把巴克拉奇泵连到烟气采样箱上,按需要调整阀 B,以使烟气采样箱内压力维持在 1.2 kPa~2.5 kPa 之间。

B.2.5.4 采样程序

- 用巴克拉奇泵把需要的烟样抽过试验滤纸大约 1 min;

- b) 在有了样品后,松开巴克拉奇泵上的夹子,把滤纸移动 10 mm,再紧紧夹住;
- c) 重复 a);
- d) 在滤纸背面衬上一张白纸,把留在滤纸上的烟痕与巴克拉奇的烟气标准烟点进行比较。如果这两次采样不是同一烟点数,重复 a)、b)、c)直到连续两次烟痕是同样的烟点数;
- e) 采样应在制造商和采购方双方商定的发动机工况下进行。

B.2.5.5 获取烟点数

通过烟度计上的孔观察烟痕,把滤纸上的烟痕与烟度计中的标准烟点相比较。当烟痕和标准烟点是同一颜色时,则相应的标准烟点数就是烟气的烟点数。

取样 1 h 内应在日光下而不是在人造光下进行比较。

B.2.6 试验数据

对每一测出的巴克拉奇数要记录下列数据:

- a) 燃气轮机功率、转速、燃油流量和动力透平入口温度;
- b) 外界条件(压力、温度和湿度);
- c) 燃料种类和添加剂(如果采用的话)。

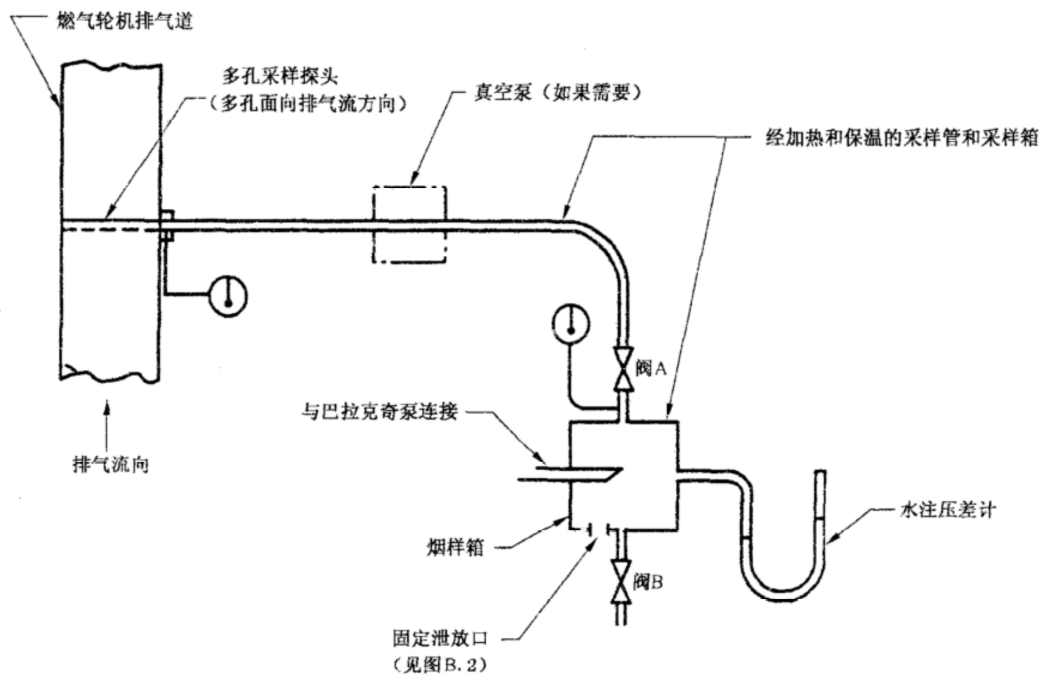
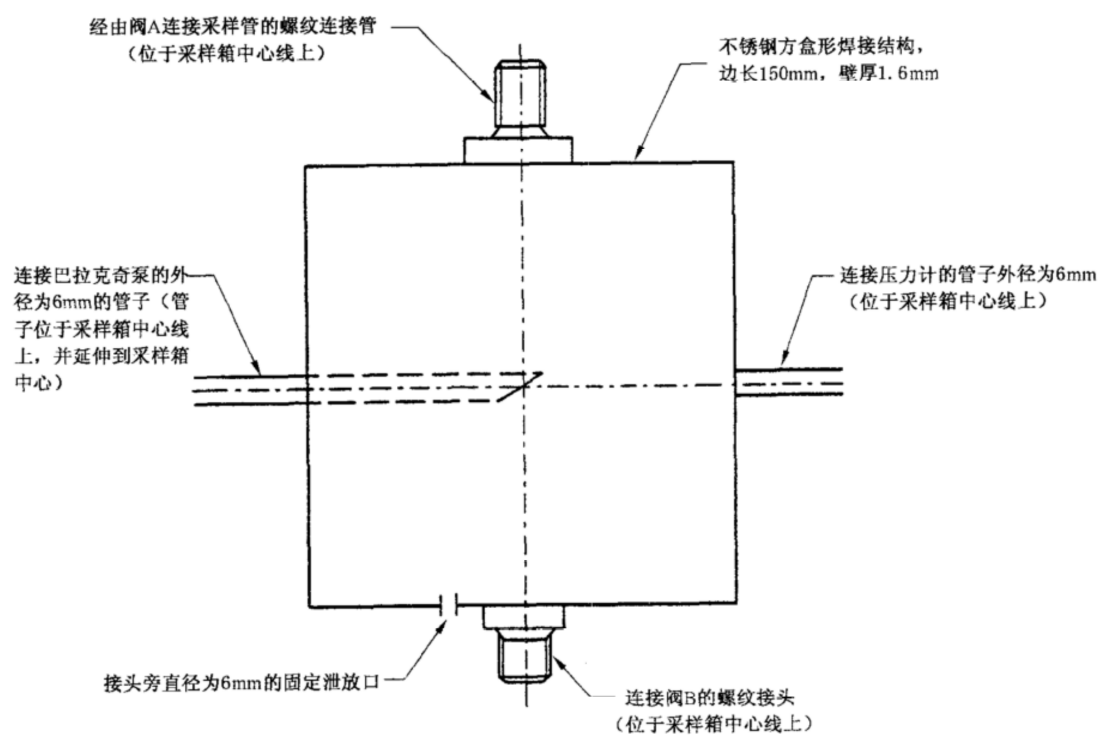


图 B.1 烟点采样系统示意图



注:所有尺寸为近似值。

图 B.2 烟点采样箱

附录 C

(资料性附录)

燃气轮机排气中氮氧化物总含量的测定

C.1 概述

测定氮氧化物(NO_x)含量的困难之一是测量低浓度的 NO ($<10 \times 10^{-6}$) 的含量,因为 NO 是惰性相对较强的气体,用简单的物理或湿化学技术测定是困难的。然而,如果将 NO 转换成 NO_2 ,则有许多方法,但这样会丧失原先 NO/NO_2 比率的原始数据,并且 NO 肯定不能完全氧化成 NO_2 。用一系列的物理或化学方法来测量低浓度或高浓度的 NO_2 相对来说比较容易,但是处理燃气样品则是一个问题。 NO_2 腐蚀金属、油、橡胶或塑料化合物;也可被化学干燥剂(例如硅胶和氧化铝)吸收,并且水的存在会引起燃气流中 NO_2 的溶解而造成大量损失。在下列不同方法的汇总中,将间歇法和连续法做了比较。

注:括号中引用的标准列在 C.6 中。

C.2 间歇法

a) 苯酚二磺酸法(PDSA)^[1]

这种标准的 ASTM 湿化学法^[2]测定以硝酸盐形式出现的氮氧化物总量。此方法可应用于测量非常广的浓度范围($1 \times 10^{-6} \sim$ 几千 $\times 10^{-6}$),并且可以可靠地用作基本标准^[3]。此法可靠,但是速度缓慢,并且对污染物的影响不是特别敏感;

b) 萨尔茨曼法^[4]

此湿化学法是一灵敏技术,因它是专用于测量 NO_2 ,原理上它能区分 NO 和 NO_2 ,浓度范围 $1 \times 10^{-6} \sim 5\,000 \times 10^{-6}$,校正后精度高。该方法快,缺点是受 SO_2 和水蒸气的干扰;

c) 检测管法

充满晶体的检测管可用来测量 $\text{NO} + \text{NO}_2$ 和 NO_2 ,其速度非常快(10 s),但不精确且有误差,故只能用于粗检查。

C.3 连续法

所有这些方法都是二次分析法,要用基本混合物去校验。

a) 非分散红外线光谱测定法(NDIR)^[5]

该法仅适用于 NO 。在国外汽车工业中广泛应用,并在现行的美国试验程序^[5]中作出规定。现在测量范围为 $100 \times 10^{-6} \sim 5\,000 \times 10^{-6}$,但未来趋势是稀释取样使其逐步扩大测量范围。此法对水蒸气敏感,故样品需要仔细地干燥;

b) 非分散紫外线法(NDV)^[6]

此法仅测量 NO_2 。在某些情况下与完全氧化剂一起用于测量 NO 。测量范围为 $20 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$ 。总的缺点是在取样中由于凝结水有效地从燃气流中吸收 NO_2 而引起 NO_2 的损失;

c) 化学发光法^[7]

这些方法目前正在研究中,看来很快会受欢迎。主要优点是测量浓度范围较宽($0.001 \times 10^{-6} \sim 3\,000 \times 10^{-6}$);

d) 二波长吸收光谱测定法(紫外线吸收法)^{[8],[9]}

这种方法测量总的氮氧化物,此法快和方便而无需试剂。测量浓度范围是 $1 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$;

e) 相关光谱测定法(紫外线吸收法)^{[8],[9]}

与二波长吸收光谱测定法相比,此法更能准确地测量 NO 和 NO₂。因无需试剂,此法方便快捷。测量浓度范围为 $1 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$

f) 库仑计法(等电位库仑计)^{[8],[10]}

此法用 NO₂ 和溴化物反应来精确测定 NO₂。浓度范围在 $0 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 和 $0 \times 10^{-6} \sim 5\,000 \times 10^{-6}$ 间任选:

g) 电化学转换器(等电位电解法)^{[8],[11]}

此法用带有燃气渗透隔膜的等电位电解分析仪测定氮氧化物,测量范围可以在 $0 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 和 $0 \times 10^{-6} \sim 5\,000 \times 10^{-6}$ 间任选。此法的精确度稍差,并且要考虑 SO₂ 的干扰。但这种方法由于分析仪便于携带而非常方便。

注: C.2 中的间歇法和 C.3 中的连续法的比较见表 C.1。

表 C.1 测量氮氧化物的各种方法汇总表

方 法	氧化氮	浓度范围 $\times 10^{-6}$ (体积/体积)	取样 方式	精度	仪表反 应时间 s	使用难 易程度	受污染 物干扰	评 语
苯酚二磺酸法	NO+NO ₂	1~5 000	间歇法	好	—	容易	—	非常慢(12 h~24 h)
萨尔茨曼法	NO ₂ , NO+ NO ₂	1~5 000	间歇法	好	—	容易	SO ₂	快速化学法,不是主要方法
德雷各管法	NO ₂ , NO+ NO ₂	广泛	间歇法	差	—	非常 容易	—	仅适用于粗检查
非分散红外线法	NO	10~5 000	连续法	好	1	容易	H ₂ O CO, CO ₂	广泛使用的仪器;气体需仔细干燥
非分散紫外线法	NO ₂	20~500	连续法	好	1	容易	—	取样时 NO ₂ 损失是一个问题
臭氧化学发光法	NO	0.001~3 000	连续法	好	1	中等	—	将很快受欢迎
氧原子化学发光法	NO _x	$10^{-6} \sim$ 3 000	连续法	中等	1	中等	—	仍在研究中
二波长吸收光谱测定法	NO+NO ₂	1~500	连续法	中等	1	容易	—	不需要试剂
相关光谱测定法	NO, NO ₂	1~100	连续法	好	1	容易	—	不需要试剂
库仑计法	NO ₂	0~50~ 5 000	连续法	好	10~60	容易	—	间接法,仍在研究中
电化学转换器法	NO _x NO, NO ₂	0~50~ 5 000	连续法	中等	3	非常 容易	SO ₂	精确度稍差,但可携带而且方便,需要 NO 浓缩器

C.4 采样问题

从纯的排气中直接采样,把它们储存在袋中,以及进入分析仪表,存在许多问题。因此,选择取样袋材料很重要。由于无法防止 NO 氧化成 NO₂,所以这两种污染物需要同时测定,并且在所有情况下,希望合理而快速地分析整个袋中的样品。

在测量 NO 之前,对排气仔细干燥很重要。然而,对于 NO₂ 的测定,因为部分 NO₂ 会被水带走,所以既不应使用化学法或使用冷却法干燥排气,也不应让气样接触很容易吸附 NO₂ 的清洁的金属。

C.5 将来的方法

将来的方法应该是遥控和避免实体排气采样。美国正在研究利用朗曼反应的电光学测试法。预期

这种方法会非常灵敏,并且几乎可以测定排气中的所有污染物,此种方法要求贵重和固定的设备。

C.6 参考文献

- [1] Tentative method of analysis for total nitrogen oxide as nitrate (phenoldisulphonic acid method), *Health Lab. Sci.*, 1970, Vol. 7, No. 3, pp. 190-193.
- [2] ASTM D1608-77; 1985, *Standard test method for oxides of nitrogen in gaseous combustion products (phenol-disulfonic acid procedure)*.
- [3] MOR 627 F. *The measurement of nitrogen oxides From the gasoline engine*, Shell international Petroleum Company Limited.
- [4] Bodenstein, M. Z. *Electrochem.*, 1918, Vol. 24, p. 183.
- [5] Federal Register, 15 July 1970, Vol. 35, p. 136.
- [6] Beckman, G. RIIC Ltd. S. E. 26.
- [7] Fontigu, A., Sabadell, A. J. and Ronco, R. J. *Anal. Chem.*, 1970, Vol. 42, p. 575.
- [8] JIS-K0104; 1974, *Methods for determination of oxides of nitrogen in exhaust gases* (Japanese Industrial Standard).
- [9] Hanst, P. L. Spectroscopic method for air pollution measurement, *Advances in environmental science and technology*, Wiley Interscience, USA, Vol. 2, pp. 91-214.
- [10] Mast Analyzer Catalog, Mast Development Co., Iowa, USA.
- [11] Dynasciences NO_x Monitor Catalog. Dynasciences Corp., California, USA.

附 录 D
(资料性附录)
维 护

D.1 目的

本附录的目的是要确保从制造商获得有关燃气轮机机组预计的维护周期和维护持续时间方面的资料。

D.2 需要的资料

为了使设备在选用的运行方式下安全运行,制造商应提供必需的关于压气机/透平的清洗、更换、检查和检修的预期周期和持续时间方面的资料。如果可能应提供有关清单。

如果需要,制造商应对其能承担的维护服务工作和更换零件的供应作出全面的说明。

D.3 维护范围

应包括整个燃气轮机动力装置所有部件以及由燃气轮机制造商供应的被驱动设备和附件的维护。这些部件列举如下:

- 压气机;
- 透平;
- 燃烧系统;
- 中间冷却器;
- 回热器;
- 控制系统;
- 燃料系统;
- 润滑油系统;
- 冷却水系统;
- 转子轴承;
- 传动齿轮;
- 联轴器;
- 进气装置;
 管道;过滤器;冷却器;消音器;
- 排气管道;
- 排气消音器;
- 支承系统;
- 箱体和通风系统;
- 被驱动设备。

D.4 维护工作的操作说明

制造商应明确说明每项操作所需的拆卸量,除非这项工作是在制造厂内进行。例如:

- 燃烧室高温部件的检查;
- 透平叶片的检查;
- 压气机叶片的检查;

——主轴和叶轮(包括叶片附件)的检查。

D.5 维护操作的地点

制造商应说明,要在什么地方进行主要整体部件的维护操作。例如:

- 在装置上;
- 在安装现场;
- 在修理中心。

如果在修理中心进行维护操作,制造商应说明它是否提供要更换或借用部件。

D.6 现场维护资料

对于在现场进行的维护操作,制造商应提供下列资料:

- 要起吊的最重零件的质量(重量);
- 预计需要的总工时;
- 建议的人数和工种;
- 预计的停机时间;
- 预计更换的零件、材料和修理工作;
- 所需起吊设备和专用工具清单。

D.7 修理中心维护资料

对于在修理中心进行的检修,制造商应提供如下资料:

- a) 要送到修理中心的零部件的质量(重量);
- b) 预计离开现场(包括运输和修理)的总时间。

为了修理和更换(借用)零件所需要进行的工作由采购方和制造商双方商定。

D.8 维护供应

制造商应当就运行和维护所需要的消耗品提出常规的需要量,例如:

- (空气、油、燃料)过滤器元件;
- 润滑油;
- 液压油。

D.9 备件

制造商应提供推荐的消耗品和备件的清单,其中包括现场维修所需的数量。制造商应该说明不存放在现场的备件其订货和交付所需时间。

D.10 运行和维护培训要求

如果用户要求,制造商应提供对用户的运行和维护人员进行培训的资料。

D.11 不需拆卸的清洗方法

制造商应当说明在不需要拆卸情况下清洗压气机或透平(或同时清洗)的方法及所需要的设备及步骤。

附录 E
(资料性附录)
关于燃料的补充资料

E.1 气体燃料

E.1.1 通过计算得出相对密度和密度

混合气体的相对密度和密度可通过计算混合气的相对分子质量进行分析而求得。混合气的相对分子质量是通过将混合气中每一成分的摩尔百分数乘以该成分的相对分子质量,然后相加而得到(相对分子质量见表 E.1)。摩尔百分数是将该成分气体摩尔数除以各组分总摩尔数而求得。对于气体,摩尔百分数是体积的百分比。例如,对于由以下成分:

- a) 甲烷(CH_4) 77.5%
- b) 乙烷(C_2H_6) 16.0%
- c) 二氧化碳(CO_2) 6.5%

组成的气体,其相对密度确定如下:

(1) 成分	(2) 摩尔数 (体积百分数)	(3) 相对分子质量	(4) 混合物的相对分子质量 [(2)×(3)]/100
CH_4	77.5	16.043	12.433
C_2H_6	16.0	30.070	4.811
CO_2	6.5	44.011	2.860

气体平均的相对分子质量为 20.104。

表 E.1 中干燥空气相对分子质量是 28.966(在 ISO 标准状态下空气的相对分子质量是 28.855,因为其中含有相对湿度为 60%的水蒸气)。所以在与空气相比较时,该混合气的相对密度(以空气为 1.0)是:

$$\text{相对密度: } 20.104/28.966=0.694$$

气体的密度通过将气体的平均摩尔质量除以摩尔体积求得。摩尔体积随各成分的可压缩系数而略有变化,但是对大多数工程应用来说,在 0°C 和 101.3 kPa(1 013 mbar)的条件下,每千摩尔气体的体积取 22.412 m^3 是足够精确的。

因此,上面的例子所给出混合气的密度是:

$$20.104/22.412=0.897\text{ kg/m}^3$$

[在 0°C , 101.3 kPa(1 013 mbar)的条件下]

而空气的密度是:

$$28.966/22.412=1.293\text{ kg/m}^3$$

[在 0°C , 101.3 kPa(1 013 mbar)的条件下]

E.1.2 比能(热值)

表 E.1 给出了用于计算气体燃料热值的各种气体的比能。一旦气体燃料化学分析已知,它的比能就是各成分的质量比与其按质量计算的比能乘积之和。对于在 E.1.1 例中所给的气体燃料,其比能计算如下:

各成分的质量百分数:

$$\text{甲烷: } 12.4/20.104=0.617$$

乙烷: $4.8/20.104=0.239$

其比能:

总比能: $55\,545 \times 0.617 + 51\,920 \times 0.239 = 46\,680 \text{ kJ/kg}$

净比能: $50\,000 \times 0.617 + 47\,525 \times 0.239 = 42\,280 \text{ kJ/kg}$

E.1.3 污染物质

在气体燃料中可能含有污染物,它取决于气体燃料的种类,例如天然气、发生炉煤气、炼油气、高炉煤气,可能含有的一些污染物质是:

- a) 焦油、炭黑、焦炭、烟尘和其他固体;
- b) 水、海水、油和其他液体;
- c) 萘、气体水化物和其他气体。

E.2 液体燃料

作为订购燃气轮机的导则,表 E.2 给出了对燃气轮机燃油的要求(按 ISO 4261,表 1)。

表 E.1 15℃ 时气体燃料的特性

序号	物质名称	分子式	相对摩尔质量	比能(kJ/kg)	
				总值	净值
1	碳 Carbon	C	12.011	32 780	32 780
2	氢 Hydrogen	H ₂	2.016	142 120	120 075
3	氧 Oxygen	O ₂	32.000	—	—
4	氮 Nitrogen	N ₂	28.013	—	—
5	一氧化碳 Carbon monoxide	CO	28.011	10 110	10 110
6	二氧化碳 Carbon dioxide	CO ₂	44.011	—	—
	链烷烃系列 C _n H _{2n+2}				
7	甲烷 Methane	CH ₄	16.043	55 545	50 000
8	乙烷 Ethane	C ₂ H ₆	30.070	51 920	47 525
9	丙烷 Propane	C ₃ H ₈	44.097	50 385	46 390
10	正丁烷 n-Butane	C ₄ H ₁₀	58.124	49 565	45 775
11	异丁烷 Isobutane	C ₄ H ₁₀	58.124	49 445	45 660
12	正戊烷 n-Pentane	C ₅ H ₁₂	72.151	49 060	45 400
13	异戊烷 Isopentane	C ₅ H ₁₂	72.151	48 970	45 305
14	新戊烷 Neopentane	C ₅ H ₁₂	72.151	48 780	45 115
15	正己烷 n-Hexane	C ₆ H ₁₄	86.169	48 710	45 130
	烯烃系列 C _n H _{2n}				
16	乙烯 Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	50 345	47 205
17	丙烯 Propylene	C ₃ H ₆	42.081	48 940	45 800
18	正丁烯 n-Butene(butylene)	C ₄ H ₈	56.108	48 475	45 350
19	异丁烯 Isobutene	C ₄ H ₈	56.108	48 220	45 085
20	正戊烯 n-Pentene	C ₅ H ₁₀	70.128	48 180	45 040

表 E. 1 (续)

序号	物质名称	分子式	相对摩尔质量	比能(kJ/kg)	
				总值	净值
	芳香族系列 C_nH_{2n-6}				
21	苯 Benzene	C_6H_6	78.107	42 360	40 660
22	甲苯 Toluene	C_7H_8	92.132	42 890	40 985
23	二甲苯 Xylene	C_8H_{10}	106.158	42 380	41 310
	其他				
24	乙炔 Acetylene	C_2H_2	26.036	50 010	48 325
25	萘 Naphthalene	$C_{10}H_8$	128.162	40 235	38 865
26	甲醇 Methanol	CH_3OH	32.041	23 865	21 115
27	乙醇 Ethanol	C_2H_5OH	46.067	30 615	27 750
28	氨 Ammonia	NH_3	17.031	22 490	18 610
29	硫 Sulfur	S	32.06	9 265	9 270
30	硫化氢 Hydrogen sulfide	H_2S	34.076	16 515	15 225
31	二氧化硫 Sulfur dioxide	SO_2	64.06	—	—
32	水蒸汽 Water vapour	H_2O	18.016	—	—
33	干空气 Air(dry)	—	28.966	—	—

表 E. 2 在用户运输、保管的期间和场所,燃气轮机燃油的详细要求

类 别 ¹⁾	试验方法	ISO-F 级					
		DST. 0	DST. 1 DMT. 1	DST. 2 DMT. 2	DST. 3 DMT. 3	RST. 3 RMT. 3	RST. 4 RMT. 4
描述		低闪点蒸馏油, 石脑油类	中等闪点蒸馏油, 航空煤油类	蒸馏油, 柴油类	低灰分蒸馏油	低灰分渣油或石油处理工艺后含有重馏分的蒸馏油	石油处理工艺后含有重馏分的石油燃料
闪点℃, 最小值	ISO 2719 ²⁾		陆用: 38 船用: 43 ³⁾	陆用: 56 船用: 60	陆用: 56 船用: 60	60	60
运动粘度 40℃时 mm ² /s 100℃时 mm ² /s, 最大值	ISO 3104	1.3 min ⁴⁾ —	1.3~2.4 ⁴⁾ —	1.3~5.5 —	1.3~11.0 —	1.3~20.0 —	— 55 (见 ISO 4261)
15℃时的密度, kg/m ³ , 最大值 ⁵⁾	ISO 3675	报告给出值	报告给出值	880	900 (见 ISO 4261)	920 (见 ISO 4261)	996 (见 ISO 4261)
蒸馏温度 90%(V/V), ℃, 最大值	ISO 3405	228	288	365	—	—	—
低温使用性	ISO 4261	报告给出值	报告给出值	报告给出值	报告给出值	报告给出值	报告给出值

表 E.2 (续)

类 别 ¹⁾	试验方法	ISO-F 级					
		DST. 0	DST. 1 DMT. 1	DST. 2 DMT. 2	DST. 3 DMT. 3	RST. 3 RMT. 3	RST. 4 RMT. 4
残碳, % (m/m), 最大值	ISO 4262	0.15 (残渣 10%)	0.15 (残渣 10%)	0.15 (残渣 10%)	0.25	1.50	报告给出值 ⁶⁾
灰分, % (m/m), 最大值	ISO 6245	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.15
水, % (V/V), 最大值	ISO 3733	0.05	0.05	0.05	0.30	0.50	1.0
沉淀物, % (m/m), 最大值	ISO 3735	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.25
硫, % (m/m) ⁷⁾ , 最大值	ISO 4260	0.5	0.5	—	—	—	—
	ISO 8754	0.5	0.5	1.3	2.0	2.0	4.5
铜腐蚀, 最大值	ISO 2160	1	1	1	—	—	—
计算的净比能, MJ/kg, 最小值(低热值)	见 ISO 4261	报告给出值	42.8	41.6	40.0	40.0	39.4

表 E.2 说明:

- 1) 各种原油特性不同, 不必将其归于某种牌号。如果考虑把原油作为工业用燃气轮机的燃料, 则其使用方式应由燃气轮机制造商和用户协商确定。
- 2) 可根据确定最小闪点的法则规定其他方法。
- 3) 在船用中这种燃料用于发动机应急使用, 并且应符合 ISO 8217 要求。
- 4) 对于 40℃ 时运动粘度低于最小值 1.3 mm²/s 的燃料, 得到燃气轮机制造商认可后, 可作为替换燃料。
- 5) 在 15℃ 时, 测量的密度单位是 kg/L, 或其他等值单位, 同本表这些值比较时应乘以 1 000。
- 6) 对 RST. 4/RMT. 4 燃料残碳重要性的评估在 ISO 4261 B. 2. 6 给出。
- 7) 有余热回收装置的燃气轮机可增加对硫含量控制的要求, 以防止冷端腐蚀(见 ISO 4261 B. 2. 6)。

附 录 F
(资料性附录)
参 考 文 献

- [12] ISO 2160:1985, Petroleum products—Corrosiveness to copper—Copper strip test. (石油产品 对铜的腐蚀性 铜片腐蚀性)
- [13] ISO 2372:1974, Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s—Basis for specifying evaluation standards. (工作速度 10~200 转/分的机械的机械振动, 制定评定标准的基础)
- [14] ISO 2719:1988, Petroleum products and lubricants—Determination of flash point—Pensky—Martens closed cup method. (石油产品和润滑剂 闪点的测定 宾斯基-马丁斯闭口杯法)
- [15] ISO 3104:1976, Petroleum products—Transparent and opaque liquids—Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity. (石油产品透明和不透明石油液体运动粘度的计算)
- [16] ISO 3405:1988, Petroleum products—Determination of distillation characteristics. (石油产品 常压下馏分特性的测定)
- [17] ISO 3675:1976, Crude petroleum and liquid petroleum products—Laboratory determination of density or relative density—Hydrometer method. (原油和液体石油产品 密度实验室测定 密度计法)
- [18] ISO 3733:1976, Petroleum products and bituminous materials—Determination of water—Distillation method. (石油产品和沥青材料 水分的测定 蒸馏法)
- [19] ISO 3735:1975, Crude petroleum products and fuel oils—Determination of sediment—Extraction method. (原油和燃料油 沉积物的测定 抽取法)
- [20] ISO 4260:1987, Petroleum products and hydrocarbons—Determination of sulfur content—Wickbold combustion method. (石油产品和烃类 硫含量的测定 威克波耳德(Wickbold)燃烧法)
- [21] ISO 4261:—³⁾, Petroleum products—Fuels(class F)—Specification—Gas turbine fuels for industrial and marine applications. (石油产品 燃料(F类)、船和工业用燃气轮机燃料的规格)
- [22] ISO 4262:1978, Petroleum products—Determination of carbon residue—Ramsbottom method. (石油产品 残碳的测定 兰姆斯波特姆(Ramsbottom)法(简称兰氏法))
- [23] ISO 6245:1982(石油产品灰分的测定)
- [24] GB/T 11348.1—1999 旋转机械转轴径向振动的测量和评定 第1部分:总则(idt ISO 7919-1:1991)
- [25] GB/T 11348.4—1999 旋转机械转轴径向振动的测量和评定 第4部分:燃气轮机组(eqv ISO 7919-4:1996)
- [26] ISO 8217:1987, Petroleum products—Fuels(class F)—Specifications of marine fuels. (石油产品 燃料(F类) 船用燃料规格)
- [27] ISO 8754:—³⁾, Petroleum products—Determination of sulfur content—Non-dispersive X-ray fluorescence method. (石油产品 硫含量的测定 非扩散型 X-射线荧光法)
- [28] ISO 10494:—³⁾, Gas turbines and gas turbine sets—Measurement of emitted airborne sound—Engineering/survey method. (燃气轮机和燃气轮机装置 气载噪声的测量 工程/简易方法)
- [29] GB/T 15135—2002 燃气轮机 词汇

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
燃气轮机 采购
GB/T 14099—2005

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.bzcbbs.com

电话:68523946 68517548

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 2.75 字数 79 千字
2005 年 11 月第一版 2005 年 11 月第一次印刷

书号: 155066 · 1-26527 定价 19.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 14099-2005