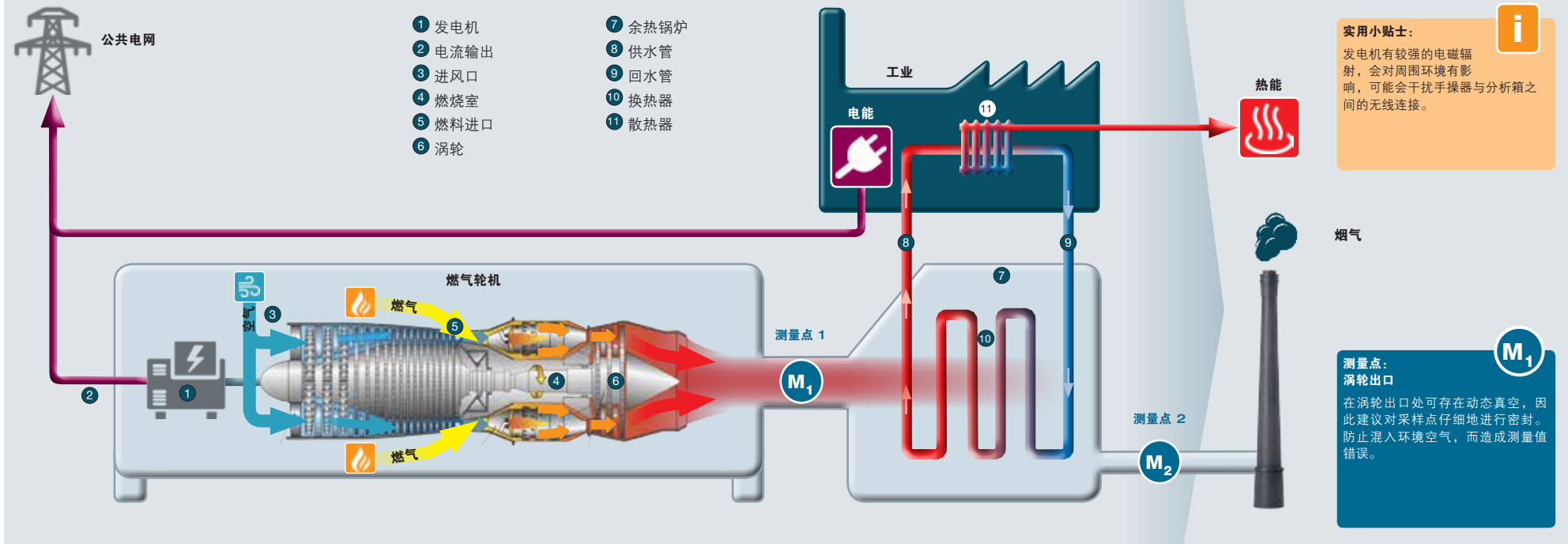


# 燃气轮机应用描述

## 概述及功能



### 燃气轮机的典型燃烧过程:

#### I. 压气机

压气机吸入空气并将其压缩。在这个过程中，空气的温度升高。今天，小于10兆瓦的燃气轮机，它的压气机最终压力值通常在20 bar以下。在设备启动过程开始时，燃气轮机的启动器为压气机提供驱动。为了调节空气量，压气机具有叶片设定系统，对导向叶片进行调节，从而改变吸入的空气量。

#### II. 燃烧室

空气从压气机流入燃烧室。燃料在此加入，然后在几乎恒定的压力下进行燃烧。在此过程中，废气的加热温度高于+1000 °C。燃烧室中的能量输入加快了废气的排出速度。

#### III. 涡轮及发电机

随后，在涡轮机中，富含能量的高温废气迅速膨胀，压力与环境压力持平，排气速度降低。在膨胀过程中，废气将动力传递给了涡轮。其中约2/3的能量用于驱动压气机（吸入空气），直接耦合的发电机将机械能转换成电能。在低压侧，在热废气进入至余热锅炉之前，约1/3的有效功率可作为发电机，压缩机或泵组件的第二驱动，为其供电。

#### IV. 余热锅炉

由于此时废气仍具有较高温度（+450 ~ + 600 °C），因此可进一步用于各种热电联产工艺中的蒸汽生产过程，以提高燃料利用率。在涡轮中减压到环境压力之后，废气被释放到环境空气中。

#### V. 废气

冷却的废气通过烟囱离开热电联产厂（CHP），温度只有约+70 °C。

## 燃气轮机应用描述

### 测量

#### M<sub>1</sub> 测量点1: 监测燃烧过程

##### 在哪里进行测量?

- 在涡轮之后

##### 为什么要进行测量?

- 确定涡轮排放
- 优化涡轮机的燃烧效率
- 不同负载点的设置
- 优化至最高效率
- 减少燃料消耗

##### 测量参数?

- O<sub>2</sub>                    - NO
- CO                     - NO<sub>2</sub>

##### 典型烟气特性:

- 烟气温度:  
+450 ~ +600 °C
- 烟道压力: 高达 25 mbar

##### 请注意:

采样点处存在动态负压  
→ 确保测量点密封是非常关键的, 否则  
会混入环境空气, 导致测量错误。



#### M<sub>2</sub> 测量点2: 监测是否遵循地方排放限值

##### 在哪里进行测量?

- 在余热锅炉之后

##### 为什么要进行测量?

- 监测是否遵循烟气排放限值
- 烟气测量, 用于故障排除/诊断
- 烟气测量, 用于定期检查和维修

##### 测量参数?

- O<sub>2</sub>                    - NO
- CO                    - NO<sub>2</sub>

##### 典型烟气特性:

- 烟气温度:  
+70 ~ +90 °C
- 烟道压力:  
± 2 mbar

### 典型测量值

#### 燃气轮机设备的典型值及排放限值

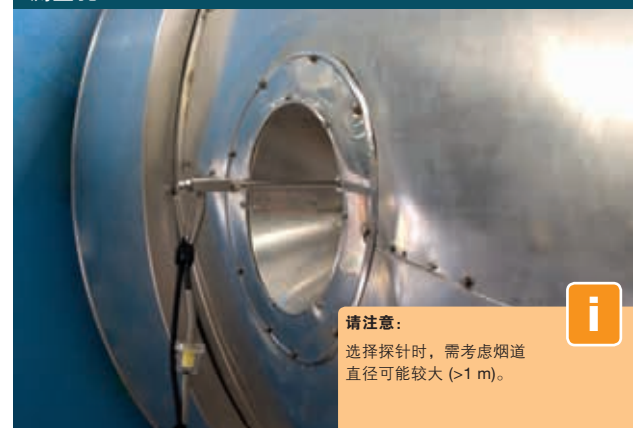
测量参数	典型值	限值
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	15 ~ 18 %	15 % (参考值)
NO <sub>x</sub>	25 ~ 60 ppm	300 ~ 350 mg/m <sup>3</sup>
CO	0 ~ 30 ppm	100 mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>		
烟尘		
烟温	+300 ~ +400 °C	+70 ~ +90 °C
流速		
湿度		

#### Testo传感器和稀释系统的优势:

- 得益于精准的CO<sub>low</sub>和NO<sub>low</sub>传感器, 在低浓度条件下也能精准测量
- 得益于量程扩展功能 (2倍、5倍、10倍、20倍、40倍), 仪器量程很宽
- 高浓度时传感器稀释功能自动开启, 防止传感器过载, 无需中断测量
- 高浓度时传感器保护功能自动开启, 防止传感器中毒
- 无需使用额外的高浓度传感器 (如NO和CO传感器)  
→ 节约成本
- 传感器量程:
  - O<sub>2</sub> 传感器, 25 Vol. %
  - NO<sub>low</sub> 传感器, 300 ppm, 12,000 ppm\*
  - CO<sub>low</sub> 传感器, 500 ppm, 20,000 ppm\*
  - NO<sub>2</sub> 传感器, 500 ppm

\* 单槽量程扩展系数: 40倍

### 测量孔



##### 请注意:

选择探针时, 需考虑烟道直径可能较大 (>1 m)。



#### testo 350 烟气分析仪的优势:

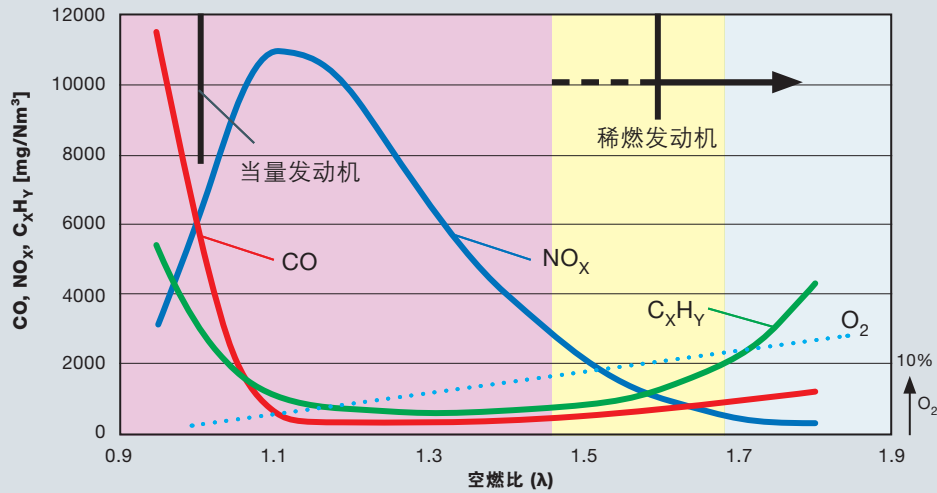
- 响应迅速, 30秒就绪
- 带预设应用的用户引导式操作菜单
- 标气测试简单准确, 可由用户在现场进行
- 坚固的封闭式外壳, 防尘防撞击
- 传感器是预标定的, 即插即用, 减少了停机时间
- 分析箱带有工业标准接口与易于接触的维修窗口
- 内置的气体预处理以及配备了专利特制技术软管的烟气探针, 可有效避免NO<sub>2</sub>的吸附以及其他烟气参数的损失



# 燃气轮机应用描述

## 理论背景知识1

### 燃气轮机的排放表现

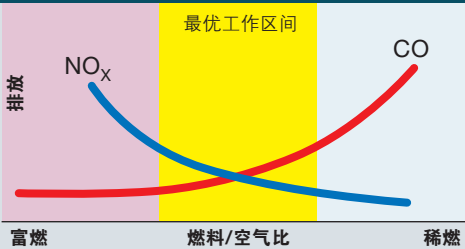


一般来说：  
燃烧图上的工作点随空燃比而变化。

$NO_x = NO + NO_2$   
→ 分别测量  $NO_x$   
=  $NO + NO_2$  传感器

- 含燃料  $NO_x$  及热  $NO_x$
- $NO_2$  含量可能很低 → 非常高的浸出危险 (→ 推荐使用气体冷却器)
- 也在非常低的范围内 →  $NO_{low}$  传感器

### 最佳工作范围



### 燃气轮机的 $NO_x$ 排放

- 燃气轮机工作需要大量过剩空气
- 当达到当量火焰温度时，热  $NO_x$  的产生迅速增加
- 往“稀薄”方向（更多的  $O_2$ ）的燃料/空气配比的增加会导致热  $NO_x$  的形成逐渐降低，但 CO 的排放会增加

### “富燃”

#### 特性：

#### $NO_x$ (氮氧化物):

空气供应增加，燃烧室温度降低。由于热  $NO_x$  发生减少， $NO_x$  的排放也降低了。

#### $C_xH_y$ 或 HC (碳氢化合物，如甲烷):

空气燃料良好配比，碳氢化合物的值会很低。

#### CO (二氧化碳):

燃烧过程中过量的烟气会促使 CO 与  $O_2$  充分氧化生成  $CO_2$ ，因而 CO 的排放浓度会很低。

### 最优工作区间

### “稀燃”

#### 特性：

#### $NO_x$ (氮氧化物):

由于燃烧温度进一步降低，热  $NO_x$  的排放大幅消除了。

#### $C_xH_y$ 或 HC (碳氢化合物，如甲烷):

若氧气水平过高，燃烧温度大大降低，则火焰温度不足以燃烧所有的燃料 (HC) → 废气中的  $C_xH_y$  浓度上升。

#### CO (一氧化碳):

由于燃烧温度太低，CO 无法充分氧化，则 CO 浓度会再次上升。

### 实用小贴士：

#### 启动燃气轮机时：

启动时可能会发生高 CO 浓度。配合稀释功能（量程扩展）的使用， $CO_{low}$  和  $NO_{low}$  传感器可测量高浓度，还可获得很高精度。

#### 得到最佳调整的燃气轮机：

若燃气轮机得以最优化调节，其 CO 和  $NO_x$  值是非常低的 ( $NO_x$  值  $< 10ppm$ )。具有气体预处理的系统可防止湿度对测量值的稀释，以及废气中冷凝物对  $NO_2$  的吸收。这样可以将性能和测量精度保持在一个恒定的水平。

## 燃气轮机应用描述

### 理论背景知识2

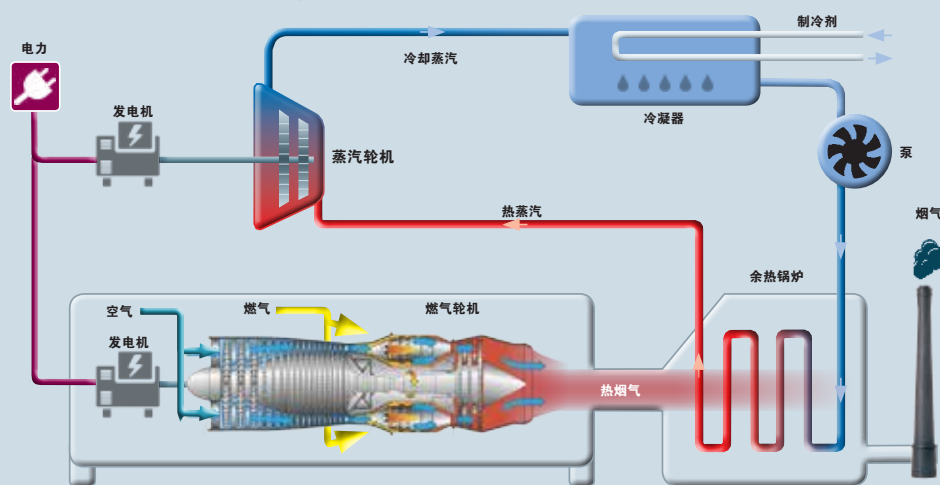
#### 燃气轮机和蒸汽轮机的不同

涡轮	燃料	温度范围
燃气轮机	气体和液体燃料（例如天然气，汽油，丙烷，柴油和煤油）。	燃烧过程中高温范围超过+ 1000 。
蒸汽轮机	热蒸汽（通常是水蒸气），热量可能来自核反应堆，燃煤燃烧器或燃气轮机。 → <b>重要提示：</b> 蒸汽轮机只能与生产的水蒸气接触，而不是与所用的燃料接触。	温度范围较低，约从 +450至+600 °C（一次燃烧过程的废气温度产生所需的水蒸气）。

#### 通过燃气-蒸汽联合循环设备提高能源效率：

→ 通过将燃气轮机与蒸汽轮机进行组合来实现更高的发电效率。在燃气-蒸汽联合循环发电机组中，燃气轮机设备的热废气用于加热蒸汽锅炉。这大大提高了效率，因为通常来说，下游汽轮机能够再次达到燃气轮机的一半性能。

#### 燃气-蒸汽联合循环发电机组的工作原理



### 量程扩展功能与低浓度传感器的有机结合

#### 仪器设定：

传感器的稀释功能（系数2, 5, 10, 20, 40）独立于应用之外，需要时自动启动。  
→ testo 350 自动检查相关气体传感器是否安装在预期的稀释槽（插槽6）中。



#### 它是如何工作的：

1. 设定传感器关断阈值。
2. 对于槽6：激活量程扩展 → 选择稀释系数 2, 5, 10, 20, 40
3. 当达到关闭阈值时，槽6中传感器的测量气体会自动使用环境空气（其他可能性：氮气）进行可控稀释。  
→ 稀释气体通过泵和使用脉宽调制原理工作的阀，通过独立的稀释空气入口进行抽吸。→ 仪器安装了过滤器，以防气路受到烟尘的侵害。
4. 如果发生这样的情况：尽管已进行稀释，仍再次达到关断阈值，传感器保护将自动开启，以保护传感器免受损坏。

#### 计算示例： x40

用于比对的传感器和仪器显示	CO <sub>low</sub> 传感器量程	带40倍稀释的CO <sub>low</sub> 传感器的量程	传感器保护：带40倍稀释的CO <sub>low</sub> 传感器的量程
仪器显示	500 ppm	10,000 ppm	20,000 ppm
CO <sub>low</sub> 传感器	500 ppm	250 ppm	500 ppm → 当超过20,000 ppm时，通过新鲜空气冲洗保护传感器

\*使用单槽量程扩展时，额外的测量不确定度为测量值的2%

\*\*CO<sub>low</sub> 传感器量程：20,000 ppm

#### 实用小贴士：

- 如果周围的空气含有干扰气体，请将软管推入稀释入口并置于干净的气氛中。\*
- 如果使用来自气瓶的气体（例如氮气），请观察最大值。压力为30 hPa。
- 稀释也会改变读数显示的分辨率。  
示例：无稀释分辨率1 ppm，系数10分辨率为10 ppm。

\* 观察直径和长度限制