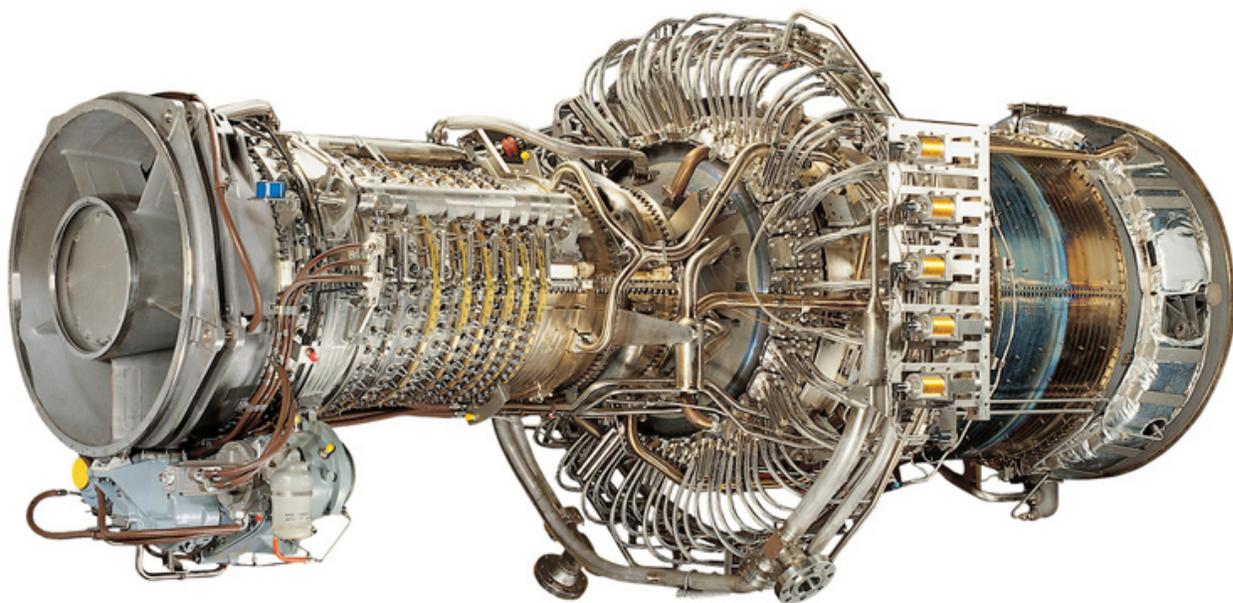


# 华电通用 LM2500 系列 航改型燃气轮机成套发电机组介绍



本说明书所提供信息仅供参考，不能用于设计、施工及合同保证。说明书未覆盖设备的所有细节，如需更加详细的信息或出现了文内未充分述及、且与买方用途相关的特定问题，应将其提交华电通用公司。

## 目录

<b>1</b>	<b>性能及参数 .....</b>	<b>1</b>
1.1	高可靠性和高可用性 .....	1
1.2	降低安装成本 .....	1
1.3	降低维护成本 .....	2
1.4	灵活高效的运行特性 .....	2
1.5	ISO 工况性能 .....	2
1.6	性能曲线 .....	2
1.7	联合循环性能 .....	8
1.8	排放控制 .....	9
1.9	辅助系统电力负荷需求 .....	9
1.10	运输尺寸及重量 .....	9
<b>2</b>	<b>标准和规范 .....</b>	<b>10</b>
2.1	国际标准要求 .....	10
2.2	中国法规要求 .....	12
<b>3</b>	<b>成套机组主要设备介绍 .....</b>	<b>13</b>
3.1	燃气轮机本体 .....	13
3.2	箱体 .....	14
3.3	底座 .....	14
3.4	尾部排烟 .....	14
3.5	燃料系统 .....	14
3.6	发电机 .....	15
3.7	空气进气系统 .....	16
3.8	燃机润滑油系统 .....	16
3.9	发电机润滑油系统 .....	17
3.10	液压启动系统 .....	17
3.11	压气机水洗系统 .....	17
3.12	火灾探测和消防系统 .....	18
3.13	燃机控制系统 .....	18
3.14	成套机组防冻措施 .....	19

3.15	成套机组分解示意图 .....	19
4	可选设备或者配置 .....	20
4.1	右侧管道连接 .....	20
4.2	左侧出线柜布置 .....	21
4.3	进气冷却盘管 .....	21
4.4	进气防冰盘管 .....	21
4.5	反吹式过滤器 .....	21
5	维护、特殊工具和备件 .....	22
5.1	维护优势 .....	22
5.2	预防性维护检查 .....	22
5.3	视情维护 .....	23
5.4	维修周期 .....	23
5.5	特殊工具 .....	23
5.6	推荐备件 .....	23
6	服务能力 .....	25
6.1	工厂动态测试 .....	25
6.2	图纸和服务手册 .....	25
6.3	安装和启动服务 .....	26
6.4	现场性能核实 .....	26
6.5	推荐的备品备件 .....	26
6.6	运行和维护培训 .....	26
7	买方的设备和服务 .....	27
7.1	土木 .....	27
7.2	机械 .....	27
7.3	电气 .....	27
7.4	由其他方提供的其它材料和工作 .....	28
7.5	其他 .....	28
7.6	供货范围的界限 .....	28

## 1 性能及参数

LM2500 系列燃气轮机是美国通用电气公司于上世纪七十年代以 TF39 和 CF6 涡轮风扇发动机为蓝本研制的航空改进型燃气轮机。该系列燃气轮机有着非常广泛的用途，可应用于船舶动力，发电，油气开采输送等多种目的。

LM2500 系列各功率等级均有 SAC 型燃烧室和 DLE（干式低排放）燃烧室两种类型，华电通用轻型燃机设备有限公司全套引进通用电气公司成熟的 LM2500 基本型干式低排放与 LM2500+G4 型干式低排放燃气轮机发电设备技术。下文所述的 LM2500 基本型和 LM2500+G4 均指干式低排放类型的燃气轮机。

LM2500 基本型燃气轮机额定功率为 22MW；LM2500+G4 型燃气轮机是在基本型平台上升级开发出来的第四代机型，通过增加一级压气机和提高燃烧温度，以及新的高压透平冷却技术，使该机型的发电出力能够达到 33MW。

### 1.1 高可靠性和高可用性

LM2500 系列燃气轮机自上世纪 70 年代初正式投入使用以来，已在全世界的范围内销售已超过 2000 台。其中大约 35%用于机械驱动，65%用于发电。迄今为止，总运行小时数已超过 5 千万小时，有记录的百万小时可用率超过 98，可靠性超过 99%。而 LM2500+G4 燃气轮机也已经广泛应用于油气输运及发电领域，并依靠非常卓越的可靠性和可用性引领行业。

LM2500 系列航改型燃气轮机保留了航空发动机的基本结构和材料，融合了其独特的产品特征，如水平中分式压气机和透平缸体、结构及模块化部件的独立替换。大量采用与航空发动机相同的高质量部件确保了燃气轮机的可靠性。燃气轮机的多种检查及热部件更换可在现场进行。热部件，包括高压透平和燃烧室，可在计划维修的 72 小时内进行拆除/替换，从而提高燃气轮机可用性。通过视情维修可达到更高的可用性，视情维修是指根据部件的实际健康状况而采取适当的维修措施，从而达到一个理想可靠的运行状态。

### 1.2 降低安装成本

华电通用的每一台 LM2500 系列燃气轮机本体在出厂前都按照严格的航空发动机标准进行了全负荷的工厂测试以确保其性能可靠性和机械完整性。每一套燃气轮机成套发电设备在运送到现场之前都经过了工厂的静态测试或者全负荷动态测试，进一步确保其所有系统的良

好状态。最终成套机组将以组装的分模块形式运送到现场，显著减少了现场安装的人工、时间、成本和质量风险。

### 1.3 降低维护成本

LM2500 系列燃机设计成具有高度易维护性，包括以下特征：

- 模块化的设计允许对部件进行部分检查/替换而无需整体拆解
- 约 40 个孔窥口便于现场进行彻底的孔窥检查
- 可独立更换的动、静叶片
- 水平中分的压气机和透平机匣允许在现场进行彻底检查和局部的叶片更换
- 可从外部更换的齿轮箱和密封部件
- 轻质的航空动力设计允许在现场进行快速的燃机本体更换

### 1.4 灵活高效的运行特性

航改型燃气轮机可用于提供快速启动（简单循环 10 分钟达到满负荷而不影响部件寿命）、调频和负荷跟踪来支持电网。较高的部分负荷效率和灵活的负荷调节特性，提高了负荷跟踪能力，同时改善了系统运行的经济性。

### 1.5 ISO 工况性能

表 1-1 简单循环 ISO 性能

燃机类型	燃料	燃烧器类型	功率输出 (kW)	热耗率 (kJ/kWh)	发电效率
LM2500基本型	天然气	干式低排放 (DLE)	21790	10201	35.3%
LM2500+G4	天然气	干式低排放 (DLE)	31923	9753	36.9%

注：基于 15℃、60%相对湿度、101.325kPa 大气压的现场条件，无进排气损失，50HZ，10.5kV，0.8pf（仅供参考）。

### 1.6 性能曲线

- LM2500 基本型在不同环境温度下的出力 图 1-1
- LM2500+G4 在不同环境温度下的出力 图 1-2
- LM2500 基本型在不同环境温度下的效率 图 1-3
- LM2500+G4 在不同环境温度下的效率 图 1-4
- LM2500 基本型在不同环境温度下的排烟温度 图 1-5
- LM2500+G4 在不同环境温度下的排烟温度 图 1-6
- LM2500 基本型在不同环境温度下的排烟流量 图 1-7

LM2500+G4 在不同环境温度下的排烟流量 图 1-8

LM2500 基本型在不同环境温度下的余热换蒸汽量 图 1-9

LM2500+G4 在不同环境温度下的余热换蒸汽量 图 1-10

满负荷运行，基于 15℃、60%相对湿度、101.325kPa 大气压的现场条件，无进排气损失，  
50HZ，10.5kV，0.8pf。

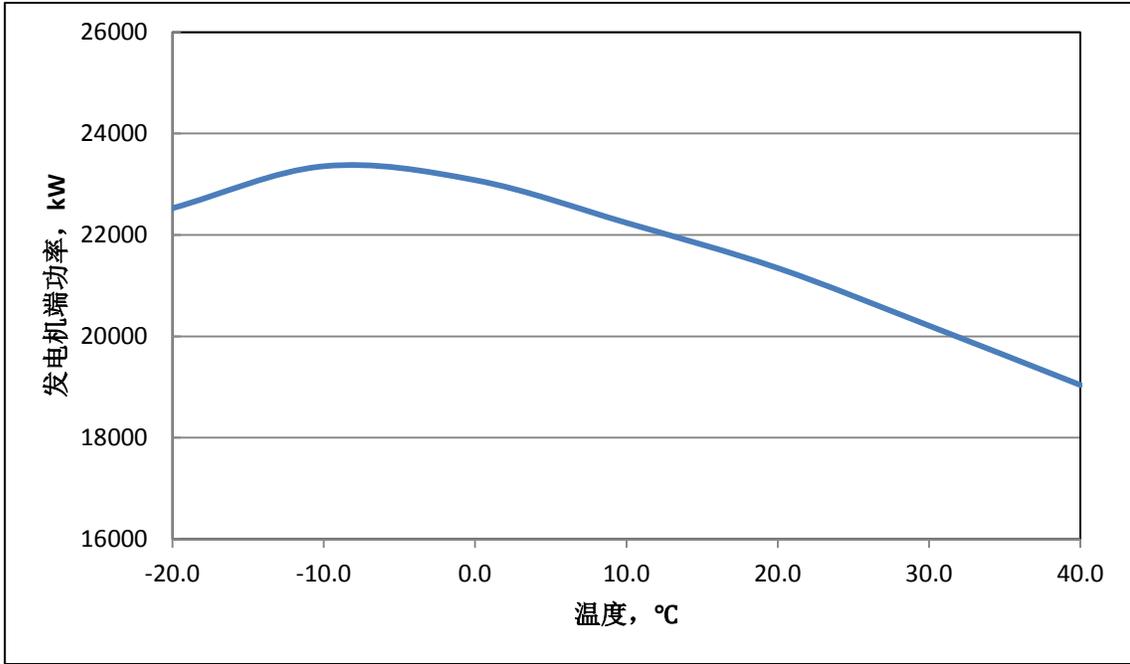


图 1-1 LM2500 基本型在不同环境温度下的出力

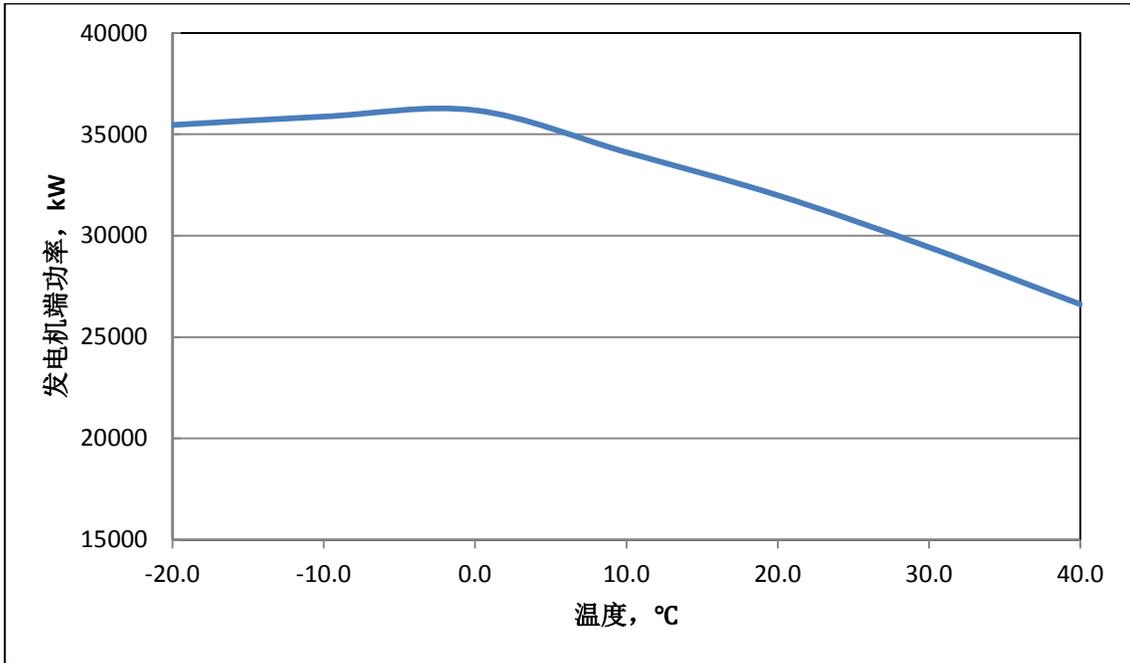


图 1-2 LM2500+G4 在不同环境温度下的出力

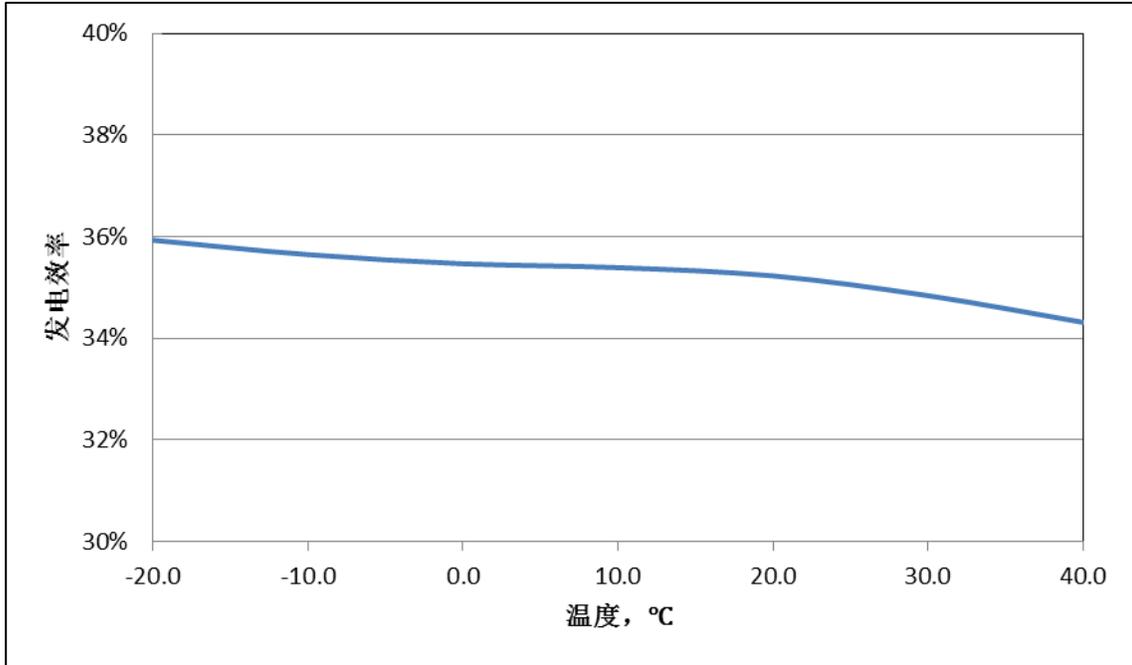


图 1-3 LM2500 基本型在不同环境温度下的效率

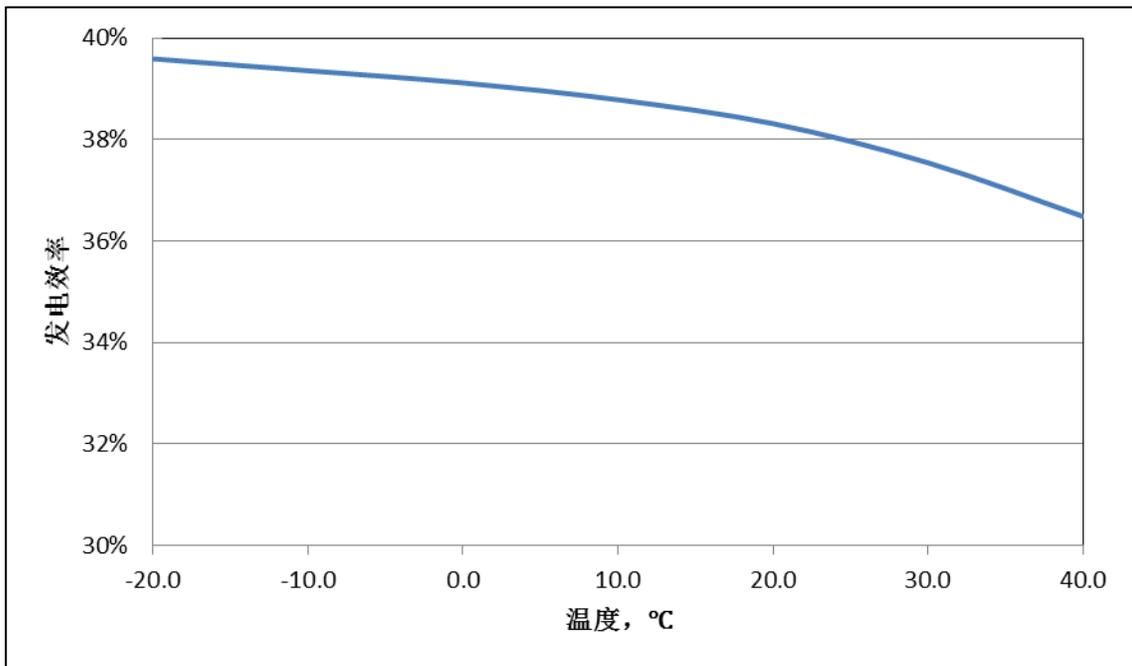


图 1-4 LM2500+G4 在不同环境温度下的效率

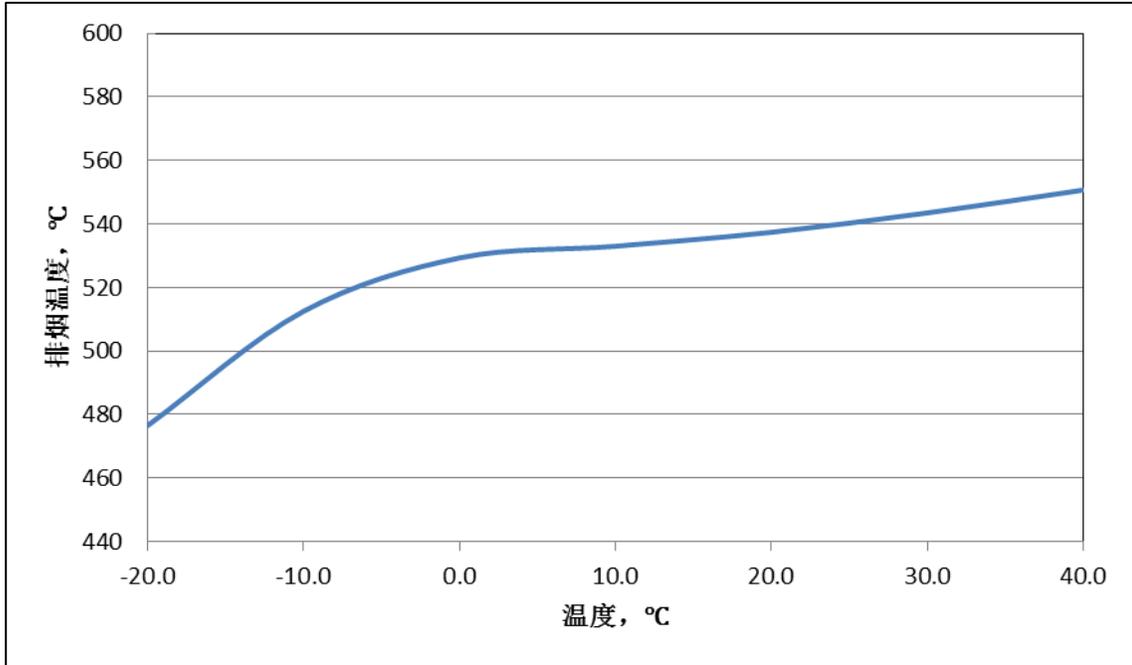


图 1-5 LM2500 基本型在不同环境温度下的排烟温度

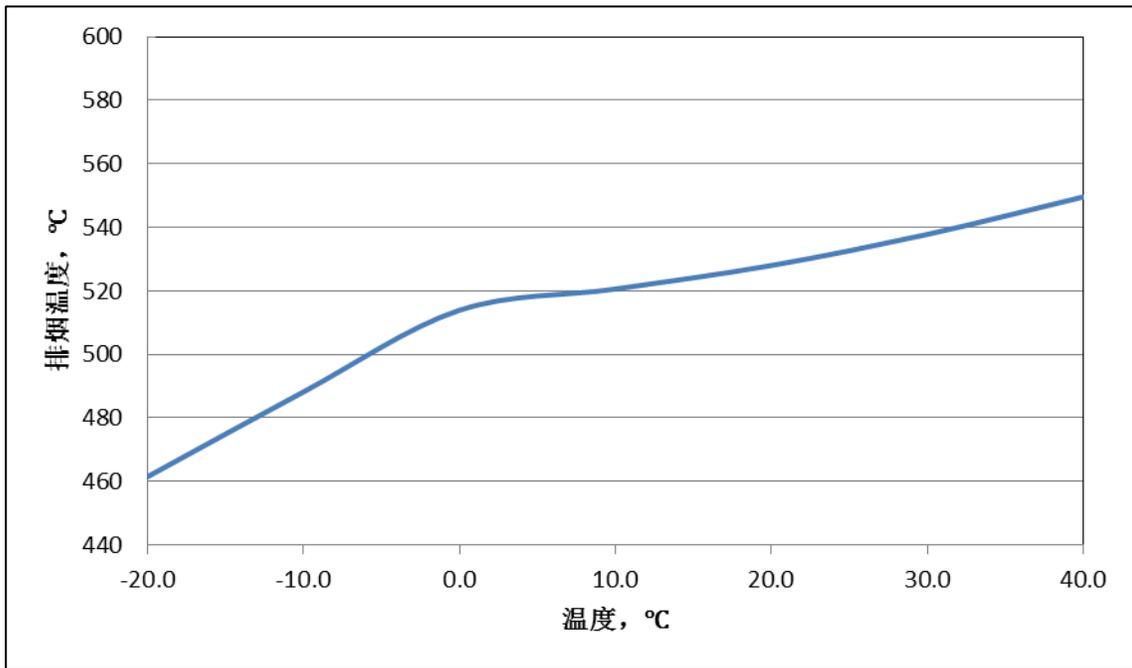


图 1-6 LM2500+G4 在不同环境温度下的排烟温度

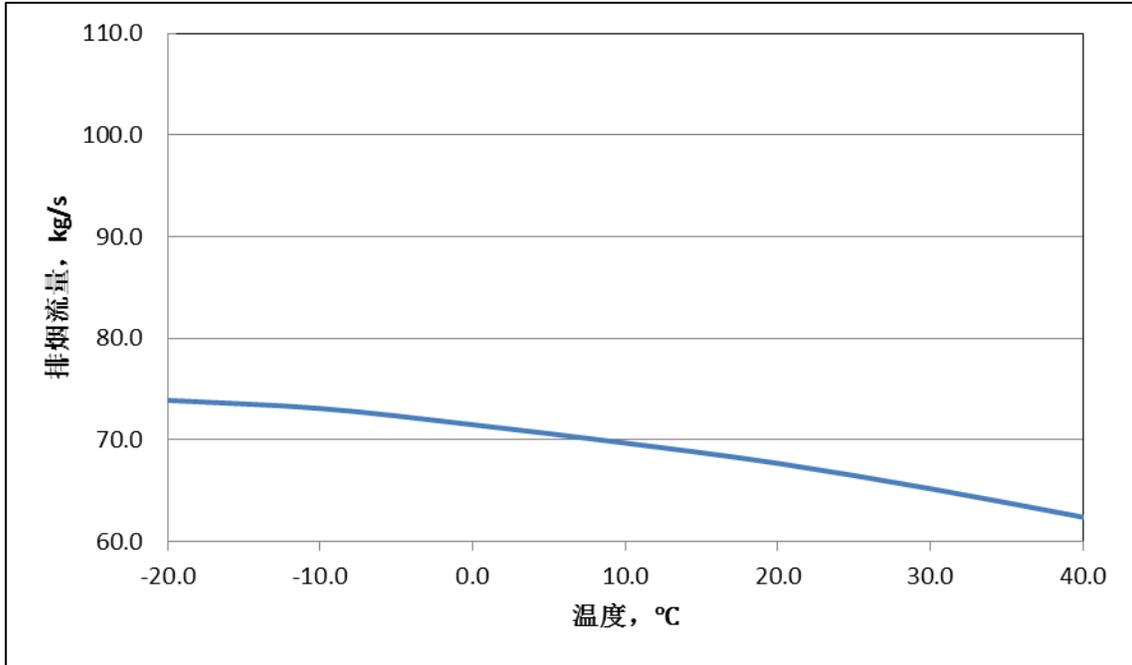


图 1-7 LM2500 基本型在不同环境温度下的排烟流量

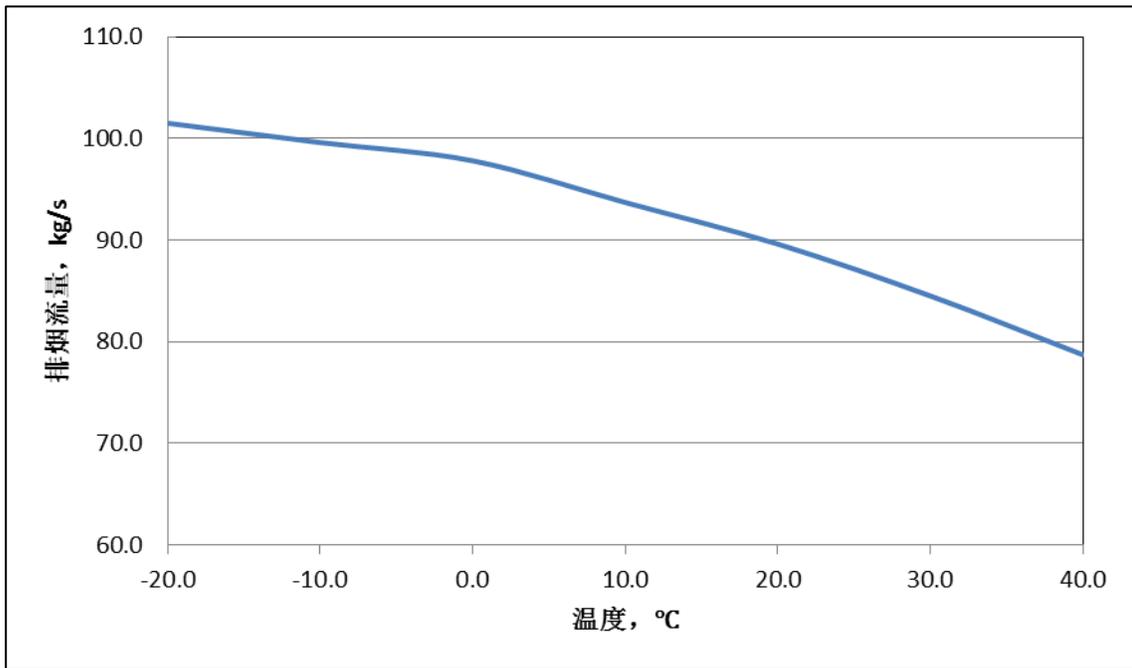


图 1-8 LM2500+G4 在不同环境温度下的排烟流量

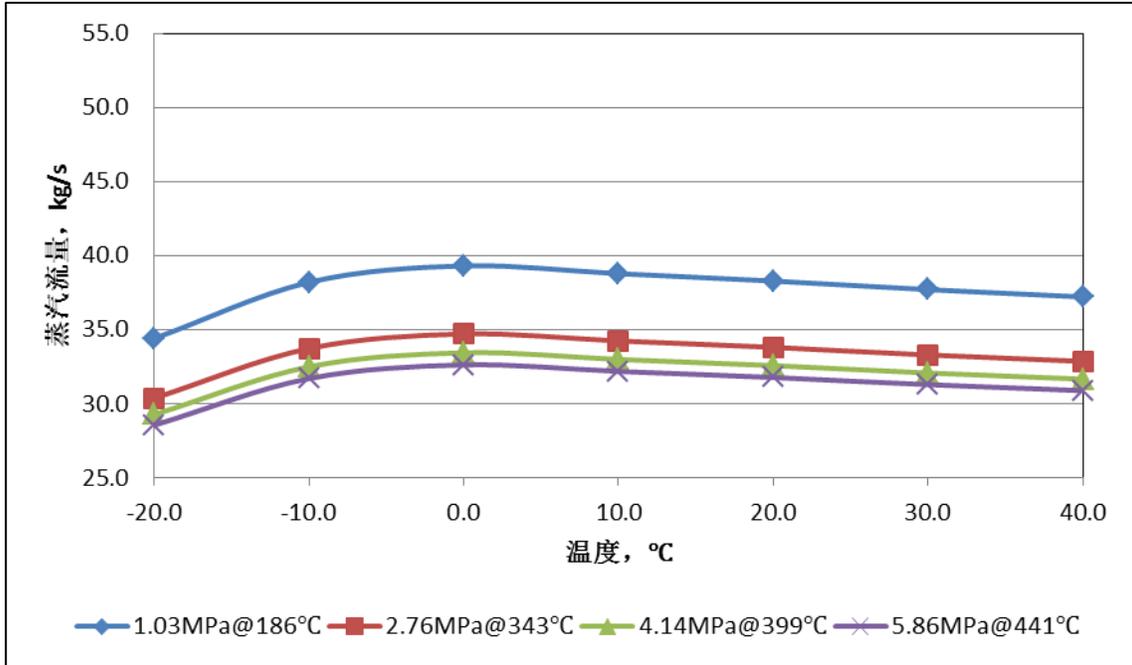


图 1-9 LM2500 基本型在不同环境温度下的余热锅炉蒸汽量  
(估算值, 余热锅炉平均换热效率 85%)

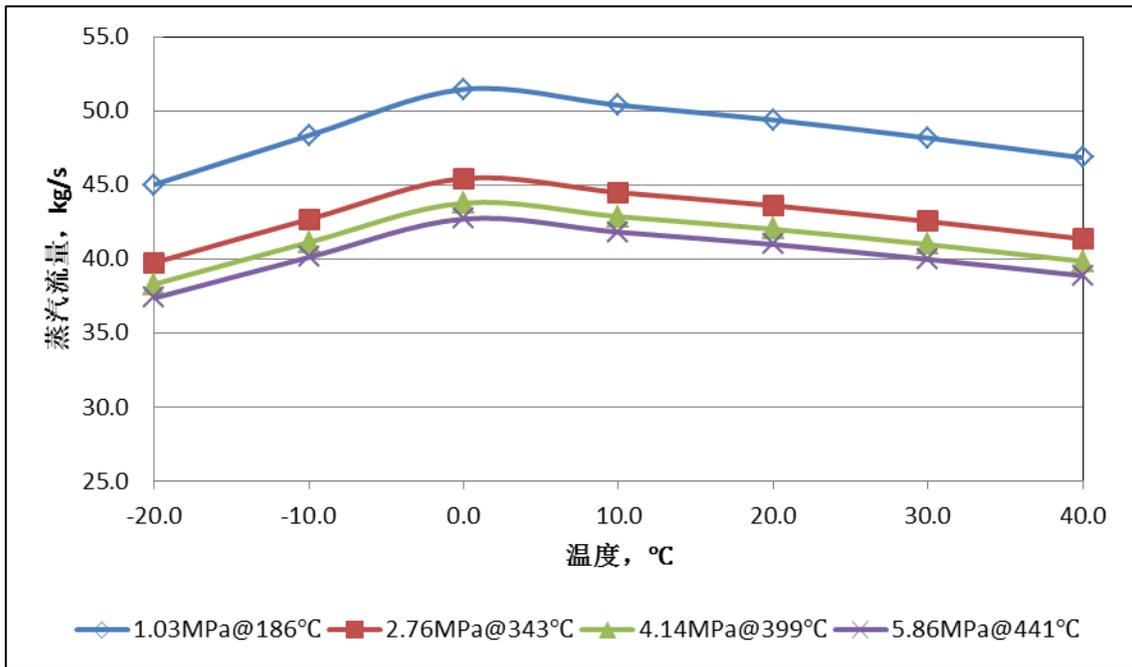


图 1-10 LM2500+G4 在不同环境温度下的余热锅炉蒸汽量  
(估算值, 余热锅炉平均换热效率 85%)

## 1.7 联合循环性能

联合循环的性能不仅与燃机机组有关，也因余热锅炉、蒸汽轮机的配置型式、设备效率等因素而有变化。以 LM2500 基本型为主机配置的纯凝发电联合循环机组的功率输出约为 32MW，系统净发电效率可达 51%，以 LM2500+G4 为主机配置的纯凝发电联合循环机组的功率输出约为 44MW，系统净发电效率可达 52%。客户可以就特定配置下联合循环的性能咨询华电通用公司。

### 1.8 排放控制

在 15%干基氧条件下的排放水平见下表。

表 1-2 排放水平

产品型号	燃料	燃烧室	NO <sub>x</sub> 排放水平
LM2500基本型, 50 Hz	天然气	干式低排放 (DLE)	50mg/Nm <sup>3</sup>
LM2500+G4, 50 Hz	天然气	干式低排放 (DLE)	50mg/Nm <sup>3</sup>

### 1.9 辅助系统电力负荷需求

下表列出了典型的 LM2500 系列机组辅助系统电力负荷需求。

表 1-3 辅助系统电力负荷 (kW)

燃机型号	正常运行
LM2500基本型	141
LM2500+G4	160

### 1.10 运输尺寸及重量

下表列出了典型的 LM2500 系列机组主要部件的毛重和外形尺寸供参考。

表 1-4 大件运输尺寸及重量

部件	毛重 kg	长度 cm	宽度 cm	高度 cm	体积 m <sup>3</sup>
燃机箱体	21,500	670.6	290.0	300.0	58
发电机 (LM2500基本型)	58,241	627.5	265.2	257.0	43
发电机 (LM2500+G4)	61,053	586.1	265.2	257.0	40
辅助模块	5,443	243.1	155.7	264.1	10

## 2 标准和规范

华电通用认为以下中国、美国、ISO 的规范和标准的相关部分适用于燃气轮机成套机组。我们的设计和程序总体上符合如下有关部分：

### 2.1 国际标准要求

ANSI A58.1	建筑物和其他结构的最小设计负荷（用于雪荷载）
ANSI B1.1	统一英制螺纹（华电通用在客户接口处遵守该标准）
ANSI B1.20.1	管螺纹
ANSI B16.5	钢制管法兰和法兰配件
ANSI B16.9	工厂制造的锻钢对焊配件
ANSI B16.21	管法兰用非金属平垫圈（可采用符合 API 601 的缠绕式垫片，特别是在透平室的管道中）
ANSI B31.1	压力管道和燃气轮机管道系统
ANSI B133.2	主燃气轮机
ANSI B133.3	燃气轮机辅助设备
ANSI B133.4	燃气轮机控制和保护系统
ANSI B133.5	燃气轮机电气设备
ANSI B133.8	燃气轮机装置的噪音污染
ANSI/NFPA 12	二氧化碳灭火系统
ANSI/NFPA 70	国家电气规程（在适用的情况下，电气部件设计为符合该规程中对危险区域划分为 1 类，D 组，2 区的要求）
ANSI C50.10	同步电机的一般要求
ANSI C50.14	燃气轮机驱动的凸极式转子同步发电机要求
ANSI/IEEE C37.90	电力设备相关的继电器和继电系统标准
API 614	润滑、轴封和控制 – 特殊用途的油系统
API 616	化工服务的燃气轮机
API 650	钢制焊接油罐
API 670	振动监测系统

API 671	石油、化学、燃气工业的特殊用途联轴器
API 678	基于加速计的振动监测系统
API RP11PGT	成套燃气轮机
ASME PTC22	燃气轮机电厂 – 性能测试规范
ASME Section VIII	锅炉与压力容器规范
ASME Section IX	锅炉与压力容器规范
ANSI IEEE C37.2	电力系统装置功能代码（华电通用遵从装置的指定编号命名，除少数情况下需修改或增加装置代码以满足华电通用的需要）
ANSI/IEEE 100	电气与电子术语标准词典
ANSI/NEMA MG1	电动机和发电机
ANSI/NEMA MG2	电动机和发电机的结构安全标准，发动机和发电机选型、安装和使用指南
ANSI S1.2	声音的物理测量方法
ANSI S1.4	声级计规范
ANSI S1.13	声压级测试方法
ANSI/ASHRAE 52.1-1992	对用于全面通风以去除颗粒物质的空气净化设备进行测量的计重法和比色法规程
ANSI S6.1/SAE/J184A	声音数据采集系统资格认证
AGMA 6011	高速螺旋和人字齿轮装置的标准惯例
IBC 2009	国际建筑规范（用于风负载和抗震设计）
IEEE STD 421	IEEE 同步电机励磁系统的标准和定义
ANSI/ISA S82.02.01	电气和电子的实验、测量、控制，以及相关设备的安全标准的一般要求
UL 796	印刷电路板
ANSI IPC	一般准则
ANSI IPC/EIA	一般准则
EN 55081-2	一般排放标准

EN 50082-2	工业环境一般抗挠度标准
EN 55011	辐射和传导污染
IEC 61000-4-2	静电放电敏感器件
IEC 61000-4-3	射频辐射抗扰度
IEC 61000-4-4	电快速瞬变敏感性
IEC 61000-4-5	电涌抗扰度
IEC 61000-4-6	射频传导抗扰度
IEC 61000-4-11	电压波动、瞬时跌落和中断
IEC 34.1	旋转电机 – 定额和性能
IEC 34.3	旋转电机 – 透平式同步电机
ANSI/IEEE C37.90.1	电涌承受能力试验
EN 61010-1	用于测量、控制和实验用途的电气设备的安全要求， 第一部分： 一般要求
EN 50021	用于潜在爆炸环境的电气设备

## 2.2 中国法规要求

华电通用的成套发电设备满足相关的中国强制性法律、法规、规范的要求，包括：

中国强制性产品认证

中国防爆电气规范（所有在危险区域的电气设备取得欧洲 AtEx 防爆证书）

中国特种设备许可证

中国大气污染排放要求

中国能效标识

中国消防产品规定

电子信息产品污染控制管理

### 3 成套机组主要设备介绍

#### 3.1 燃气轮机本体

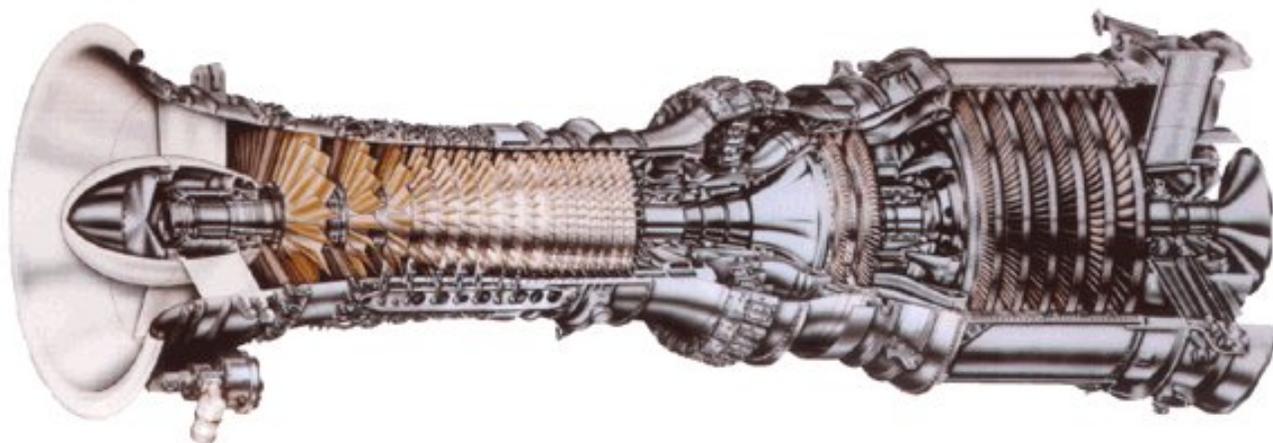


图 3-1 LM2500 系列燃气轮机本体

LM2500 系列燃气轮机是双轴燃气轮机，由燃气发生器和 6 级的动力透平组成。燃气发生器包括 17 级（LM2500 基本型有 16 级）的压气机，干式低排放（DLE）燃烧器和 2 级高压透平。压气机与驱动它的高压透平在同一根高速轴上，动力透平在一根单独的低速轴上，直接驱动发电机。压气机的前 7 级静叶可以通过液压执行机构进行调节，以提高燃气轮机在不同负荷下的效率并防止压气机发生喘振。

LM2500 系列燃气轮机采用耐高温合金材料制作的滚动轴承，用于支撑转子和平衡轴向推力。轴承需要特殊的合成油冷却和润滑。

LM2500 基本型和 LM2500+G4 燃气轮机燃用天然气，采用干式低排放燃烧技术，配置了 75 个预混燃烧的喷嘴，在全功率范围内减少氮氧化物的排放。

燃气轮机本体主要部件：

- 17 级压气机（LM2500 基本型为 16 级）
- 入口导叶和压气机静叶可调（VIGV/VSV）
- 干式低排放（DLE）燃烧器
- 75 个预混燃烧喷嘴及点火器

- 2 级高压透平
- 6 级低压透平
- 用于诊断检查的孔窥检查口
- 用于启动、润滑油泵、液压泵及油气分离器驱动的辅助齿轮箱
- 柔性联轴器及防护罩

### 3.2 箱体

燃气轮机成套机组的燃气轮机本体、辅助模块都带有独立的箱体。设备箱体是为设备室外安装而设计的，能够抵抗 160km/h 的风速，同时能够在燃气轮机满负荷运行时使箱体外 1 米、基座平台上方 1.5 米处的近场噪音降低降低到 85dB(A)。燃气轮机本体箱体带有检修门和交流、直流照明。

箱体通风系统能够带走燃机运行过程中释放的热量，并能够在气体燃料系统故障时带走可燃气体。燃机间的两个排风扇（一用一备）在燃机间内产生负压通风。燃机箱体内配备有火灾预警、可燃气体探测及 CO<sub>2</sub> 灭火装置。

### 3.3 底座

燃气轮机的底座是由结构钢焊接而成的刚性支撑结构，用于支撑燃气轮机，发电机则直接安装到混凝土基础上。基座的刚性设计符合标准 IBC 2009 的要求，适合在地震多发地区安装使用，同时还为运输提供了方便。

### 3.4 尾部排烟

LM2500 型燃气轮机的烟气通过一个集气器排放到客户的烟囱或者余热锅炉。烟气集气器是一个矩形法兰接口，客户需要在烟气集气器与其烟囱或者余热锅炉之间加装膨胀节，用来平衡烟道的热膨胀。LM2500 型燃气轮机是热端侧向排气，客户可根据实际需要选择排气的方向，具体说明见第 4 章。

### 3.5 燃料系统

LM2500 基本型和 LM2500+G4 机型使用天然气作为燃料，DLE 燃烧系统不用注水就能满足 50mg/Nm<sup>3</sup> 的 NO<sub>x</sub> 排放要求。气体燃料系统包括以下主要部件：

- 气相色谱仪
- 燃气滤嘴
- 压力、温度仪表
- 双冗余的燃气快速关断阀
- 燃气流量控制阀及分段控制阀
- 燃气管母管

气相色谱仪安装在一个单独的模块上，探针安装在客户侧截止阀和放散阀的上游管道上。燃气成分必须满足华电通用燃料规范 HTS0003 的要求。客户需要在燃机箱体之外、客户提供的燃料管线上，按照 HDGE 的要求，安装主管道截止阀和放散阀(放空阀)，这两个阀门由华电通用提供并由燃机控制器控制。

燃料气流量控制阀用来调节燃料流量，进而控制燃机转速和负荷。分段阀不能用于调节流量，但通过开/关状态的切换使燃气进入不同的母管，从而控制在不同负荷下的燃烧模式，降低 NOx 排放。

供到 LM2500 机组底座接口处的天然气压力必须满足稳态压力  $3,585\pm 138\text{kPag}$  的要求。

### 3.6 发电机

LM2500 机组配备一台 BRUSH 的二极三相同步电机，并包括了一个配备永磁发电机的无刷励磁系统。发电机按 F 级绝缘设计，B 级温升运行。每一台发电机在出厂前都按照制造厂家常规试验规范进行试验。

LM2500+G4 燃机配套的发电机型号为 BDAX 71-193ER，额定参数：频率为 50Hz，标准发电机出口电压为 10.5kV，额定功率因数 0.8，40℃冷却空气温度时功率为 32MW。LM2500 基本型燃机配套的发电机型号为 BDAX 7-193ER，额定参数：频率 50Hz，标准发电机出口电压 10.5kV，额定功率因数 0.8，40℃冷却空气温度时功率为 29MW。发电机能够在各种环境温度下承载燃气轮机的连续输出功率。

发电机采用开式空气冷却，空气通过发电机进气过滤器后经过轴端风扇进入发电机内部进行冷却，热空气通过发电机顶部排出。闭式冷却发电机作为一个选项供客户选择。这个配置需要客户按照厂家要求，向发电机提供连续冷却水。

发电机每个径向轴承都安装一对振动探头，用来监视转子的轴振。在发电机内部还配置有空间加热器，能够在发电机停机的时候防止空气中的水蒸汽冷凝。

发电机采用无刷励磁调节系统。永磁机和励磁机安装在发电机的非驱动端。励磁调节器为 GE EX2100e，安装在燃机控制柜（TCP）内。励磁调节器的电源来自发电机主轴上的永磁机，另一路备用电源来自客户提供的 125V 直流电池组。

发电机保护继电器是一个数字式微处理器，型号为 Beckwith M3425A，负责发电机的监测和保护。发电机保护继电器安装在燃机控制柜（TCP）内。

发电机的中性点柜和出线柜安装在发电机左右两侧。中性点柜内有 12 个电流互感器（CT），用于发电机保护和测量。发电机通过接地变压器接地。出线柜内安装三个避雷器和电容，客户可以通过电缆连接发电机出线。

### 3.7 空气进气系统

LM2500 燃气轮机配备一个模块化的多级静态过滤系统，安装在燃机箱体前方。为系统提供清洁的燃烧空气和燃机箱体通风空气，对 5 微米以上的颗粒过滤效率超过 99.9%。经过过滤后的空气分成两部分，大部分空气经过消音器进入燃机压气机，另外一部分空气用于燃气轮机箱体通风。

根据客户现场实际环境温度和相对湿度的特点，空气过滤装置中可能需要加装防冰盘管，在可能出现结冰的情况下，通入热水来加热燃烧空气。为方便检查维护，进气过滤系统提供内部照明、检修平台，钢结构支架和直梯。

### 3.8 燃机润滑油系统

燃机润滑油系统主要由安装在燃机辅助齿轮箱（AGB）内的油泵组（供油泵、回油泵以及液压油泵）和安装在燃机箱体内的油/气分离器，安装在辅助模块上的油箱、滤油器和冷油器，以及布置在油箱顶部的除雾器等组成。供油泵、回油泵以及液压油泵由燃机的高速轴通过入口齿轮箱（IGB）来驱动。燃机液压油主要用来驱动燃机压气机的入口导叶、压气机可调静叶和压气机放散(放气)阀的执行机构。

LM2500 燃气轮机使用合成润滑油对燃机辅助齿轮箱和轴承进行冷却和润滑。润滑油从油箱经过供油泵和供油过滤器给燃机各部分提供润滑，回油首先进入回油泵，依次通过回油滤油器和

温控阀/油冷却器回到主油箱。每一路回油管路上都安装有磁性探测器，用来监测燃机轴承和辅助齿轮箱的磨损状态。供、回油的压力和温度也是被实时监测的。采用双联的管壳式冷油器对回油进行冷却，冷却水由客户提供。润滑油箱和管线都采用 304 不锈钢材质。

### 3.9 发电机润滑油系统

LM2500 基本型燃气轮机和 LM2500+G4 机组使用一个独立的发电机润滑油系统向发电机的径向轴承和推力轴承提供润滑和冷却，润滑油系统主要包括油箱、一台由发电机轴直接驱动的主油泵、一台交流备用泵、高位油箱、滤油器、油/气分离器、以及双联管壳式冷油器等。双联 2×100%管壳式冷油器独立布置，对供油进行冷却，客户需提供冷却水至冷却器。在环境温度较低的地区，客户需要提供加有防冻液的冷却水。

### 3.10 液压启动系统

燃机的液压启动系统主要由安装在辅助齿轮箱（AGB）上的液压启动马达和安装在辅助模块上的液压启动油系统组成。辅助模块上的电动油泵组将高压液压油送至燃机本体上辅助齿轮箱内的液压启动马达，进而驱动燃气发生器的高速轴。液压油的回油通过一个强制通风的热交换器来实现冷却。油箱和管线都采用 304 不锈钢。

燃机控制器通过控制液压泵出口油压来控制压气机转速：低转速用来实现离线水洗或者检修，高转速用来实现燃机的吹扫和启动。

### 3.11 压气机水洗系统

压气机的叶片表面结垢会导致燃气轮机性能降低。为此 LM2500 系列燃气轮机配备了水洗系统用于压气机的清洗，提高压气机效率。

水洗系统主要包括：

- 可移动式水洗小车
- 170L 不锈钢水箱
- 水洗泵及气动马达
- 安装在燃机压气机入口的喷嘴组
- 快装管道

水洗系统的标准配置包括在线水洗系统和离线水洗系统。在线水洗用于在机组运行时除去压气机叶片上的积垢，从而延长离线水洗停机的间隔；离线水洗在燃机停机以后低速盘车的时候进行，将清洗剂与水混合后喷入燃机的进气喇叭口，经过一段时间浸泡后，再使用清水进行冲洗。离线水洗能够彻底清除压气机上的积垢。

水洗系统安装在一个可移动的水洗小车上，清洗压气机时将水洗小车移至燃机旁边，客户需提供符合要求的压缩空气。压缩空气、清洗水、清洗液以及防冻液必须满足华电通用的要求，清洗用水和清洗剂的要求请咨询华电通用。清洗程序应严格遵守华电通用的运行维护手册。

### 3.12 火灾探测和消防系统

LM2500 系列成套机组提供一个工厂组装好的火灾探测和消防系统，以探测设备箱体内的火情、不安全温度或爆炸性气体，若探测到火情，系统将释放 CO<sub>2</sub>。灭火系统主要包括以下设备：

- 二氧化碳灭火模块(包括主/扩展两组二氧化碳气瓶)
- 燃机箱体内部的火焰探头、可燃气体探头和温度探头，外部声光报警器和手动释放按钮
- CO<sub>2</sub> 喷嘴和管道
- 灭火系统控制器（安装在 TCP 旁）
- 内置 24V 直流电池组和独立的充电器对消防系统提供电源

当接收到火警信号时，控制系统关停箱体内的通风风扇，并触发控制柜处和机组箱体内外部的声光报警器。经过 30 秒的延迟后，向燃机箱体和发电机箱体释放 CO<sub>2</sub> 灭火剂，主气瓶组和扩展气瓶组同时触发并释放。CO<sub>2</sub> 要达设计浓度约需 60 秒的时间。主气瓶组 CO<sub>2</sub> 灭火剂为快速释放，扩展气瓶组 CO<sub>2</sub> 灭火剂为慢速释放。

### 3.13 燃机控制系统

燃机控制柜（TCP）由客户自由布置在非危险区域内（如单独房间、电气仪表间或者主控室），包括了成套机组控制器（负责控制润滑油系统，通风和冷却系统等）、振动监测（BN3500），发电机保护继电器、多功能数字仪表、发电机励磁自动调节器等。燃机主控制器采用 Woodward Micronet+ 系统，负责控制燃烧和调节负荷。燃机主控制器放在燃机主接线柜（MTTB）内。

燃机控制柜内的成套机组控制器可以实现与客户 DCS 之间的 TCP/IP 协议通讯以及重要信号的硬接线。客户可以通过 DCS 实现对燃机的控制。一套独立的 24V 直流电池组和两套充电器用于给控制系统供电。

控制系统还包括两台人机交互界面（HMI），一台就地设置于 TCP 附近，另一台远程 HMI 可放置于客户的主控制室内。HMI 可以用中文显示燃机运行数据和模拟画面，还包括操作员输入界面。

### 3.14 成套机组防冻措施

根据室外布置的现场气候条件，成套机组会根据华电通用的设计准则配备适当的防冻设施。可能的措施如下：

- 燃烧空气的防冰盘管
- 加装封闭式保温罩壳或者遮阳罩
- 箱体内部电加热器
- 设备内部电加热器
- 管道的保温层
- 电气伴热
- 建议客户加防冻液（冷却水、清洗水）

### 3.15 成套机组分解示意图

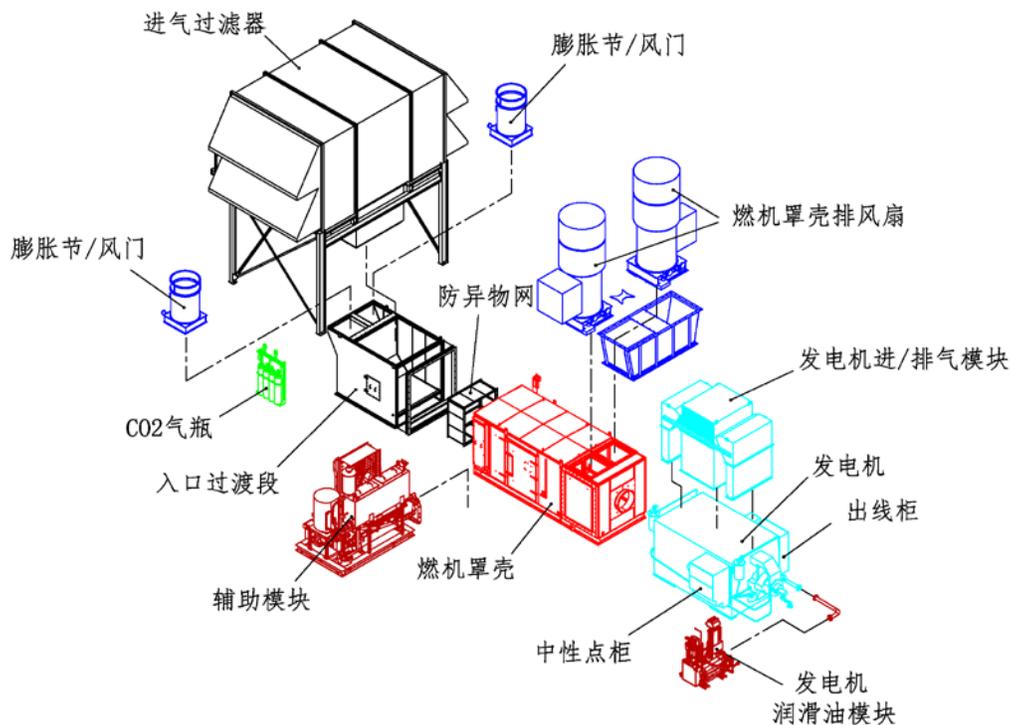


图 3-2 LM2500/LM2500+G4 机组分解示意图

## 4 可选设备或者配置

第 3 章中列出的设备均包含在标准的 LM2500 系列燃气轮机成套机组中。作为基本供货范围之外的可选项，华电通用也可提供以下的设计变更：

- 左侧管道连接/右侧管道连接
- 右侧出线柜布置/左侧出线柜布置
- 进气冷却盘管
- 进气防冰盘管
- 反吹式过滤器
- 额外的防冻措施

### 4.1 右侧管道连接

在标准的 LM2500 系列机组配置中，从发电机励磁端向透平看时，客户的燃气管道连接以及辅助模块布置在燃机在左侧。作为可选项，该管道连接和辅助模块可以设于燃机右侧。燃机的检修区域位于管道连接的另一侧。

#### 4.2 左侧出线柜布置

在标准的 LM2500 系列机组配置中，从励磁端看时，发电机的出线柜在右侧，中性点柜在左侧。作为可选项，机组的布置可配置为出线柜在左侧，中性点柜在右侧。

#### 4.3 进气冷却盘管

为了在天气炎热时增加燃气轮机的出力，华电通用可在过滤器前端安装一套进气冷却盘管，制冷水/乙二醇的混合物在盘管中循环流动，从而降低燃机压缩机进气温度，提高燃机性能。

#### 4.4 进气防冰盘管

采用此选项时，华电通用在过滤器前端安装一组防冰盘管。客户可使加热的水/乙二醇混合物在盘管中循环流动，从而加热燃机的进气空气温度，防止在低温条件下压气机内部形成结冰，对部件造成损坏。关于细节可与华电通用商议。

#### 4.5 反吹式过滤器

华电通用为有特殊需要如尘土、纸浆和纸纤维及积雪较多的场所提供预制的自净式过滤器，来替代标准的静态过滤器。过滤室通过支架支撑装在机组箱体的上方。向下的气流为燃烧和通风提供已过滤的空气。该紧凑的过滤设计安装简单，过滤系统包括一个不锈钢进气消声器和一个供检查和维护过滤器的带阶梯的平台。

## 5 维护、特殊工具和备件

### 5.1 维护优势

对客户来说，计划外停机的代价是巨大的。在很多情况下，停机导致损失的利润远超过了修理费用。

LM2500 系列的简化设计有助于减少这方面的损失。整个 LM2500 成套机组是以易于维护的理念设计的。宽大的箱体提供了宽敞的工作空间。各个部件都易于接近、调整和维修。

燃气轮机成套机组的燃机箱体内包括防冲击隔振装置，该装置允许燃机本体安装在燃机箱体内进行运输。这使得燃气轮机本体在到达现场时已完成测试、配线和管道连接，免除了在现场重新装配的过程。燃机箱体包括内置照明和舒适的工作空间。

除了便于维护的设计之外，华电通用基于通用电气公司的多年运行和研发经验，根据客户的不同需求设计了各种维护程序。这些维护程序主要包括：

- 预防性维护
- 视情维护
- 现场和非现场维护

### 5.2 预防性维护检查

该检查可以发现磨损和机械问题。仅当通过检查发现有需要时才会安排维护程序，而不是按照僵硬的时间表去替换零件。在华电通用的培训和材料中都着重强调了预防性维护检查和操作意识的重要性。我们可教授客户的操作员进行预防性检查，包括：

- 关键参数的状态监测
- 性能趋势分析
- 辅助系统和外部接线的视觉检查
- 孔窥检查
- 水洗
- 过滤器的更换和检查
- 润滑油取样

另外，华电通用教授客户的操作员进行日常的“状态监控”，包括

- 燃气发生器转速
- 动力透平转速
- 燃气发生器烟气温度
- 燃气发生器排气压力
- 振动
- 油压
- 油温

状态监控以及孔窥检查能够提供燃气轮机状态随运行时间变化的重要记录。这使得能够准确地前瞻并合理地安排燃气轮机的维护计划。

### 5.3 视情维护

每六个月，对燃机本体可进行一次彻底的内部孔窥检查。该检查可揭示燃机内部正在发生的机械问题和可能的磨损。部件的更换主要基于孔窥检查的结果，而不是僵硬的维护时间表。这种“视情”维护节省了部件、人工和停机时间。

### 5.4 维修周期

华电通用提供的 LM2500 系列燃机推荐的孔窥检查间隔是 4,000 个运行小时，每次检查约需时 1 天；推荐的热通道部件更换间隔是 25,000 个运行小时，每次更换约耗时 2~3 天；推荐的大修间隔是 50,000 个运行小时，大修是将燃机整体卸下，运至燃机维修中心进行维修，并将替换用燃机安装在现场，燃机替换所需时间约 2~3 天。

实际具体的检修计划要根据设备的孔窥检查结果而定。

### 5.5 特殊工具

燃机的现场维护需要使用特殊工具。特殊工具列表经要求后提供。为了满足想要自行维护燃机的客户需要，这些工具是分开定价的。

华电通用在 LM2500 系列的基本供货范围内包含了一套燃机起吊工装。该起吊工装可配合起吊装置将燃机本体整体起吊并移至检修区域。

### 5.6 推荐备件



若客户需要，华电通用可提供典型 LM2500 系列燃气轮机发电机组所需的推荐备件列表。

## 6 服务能力

华电通用拥有专业的成套机组组装和服务团队，并将持续发展和进步，以更好地服务于客户。

### 6.1 工厂动态测试

标准供货范围内包括燃气轮机机组和控制系统的全负荷动态测试，包括冲洗、安全报警和停机设定值的确认。客户购买的燃气轮机、发电机、辅助模块和控制系统在华电通用工厂条件下运行到满负荷水平。该测试的目的是显示燃机和发电机在稳态下将电压和频率维持在一定程度内的能力。华电通用工厂测试线上的空气过滤器和排气烟囱将装配在客户买的设备上以供测试。标准的全负荷测试进行一个小时。但可根据客户的要求进行调整。

### 6.2 图纸和服务手册

华电通用在项目执行期间，将提供详细的客户图纸和手册，以满足客户在电厂设计、施工、安装、调试、运行和维护阶段的需要。在项目开工会（或第一次设计联络会）后，华电通用会根据项目和合同的要求，分批提供以下图纸：

- 主、辅机的平面布置图和外形图
- 设备基础图和相应的负载
- 成套机组单线图和三线图
- 系统流程图
- 起吊和运输图
- 电气和控制接线图
- 保护定值清单
- 危险区域划分图

在主要设备发货前一个月，华电通用将提供设备的安装和调试手册。主要内容有：

- 收货和开箱检查程序
- 设备安装程序和验收标准
- 安装计划和工具
- 机械和电气设备调试前检查

- 主要调试步骤和验收标准

在主要设备发货后一个月，华电通用将提供设备的运行和维护手册。主要内容有：

- 设备介绍
- 燃机和发电机规范
- 设备运行程序和顺序
- 发电机运行参数
- 控制设备运行参数
- 机械和电气图纸（最终图纸）
- 华电通用供应商提供的分系统运行维护手册

### 6.3 安装和启动服务

作为可选服务内容，华电通用可为客户提供安装和启动的现场服务咨询。该扩展服务包括指导和监督客户或第三方建造商对燃气轮机机组的安装。调试服务包括机组冲洗指导、核查、以及指导和监督对燃机机械系统、电气系统及控制系统的调试。华电通用可提供机组调试所需的通用手工工具。

### 6.4 现场性能核实

如果客户需要，华电通用将为性能试验提供现场技术指导，协助进行现场性能测试，从而验证发电机出力和热耗能够达到保证水平。

### 6.5 推荐的备品备件

与运行和维护手册同时提供的还有燃气轮机、发电机、励磁机、控制装置和基座外辅助设备的推荐备件列表。此外，华电通用可提供专家协助客户进行备件计划和定购活动。

### 6.6 运行和维护培训

根据客户和合同的要求，华电通用还可以提供针对项目的培训，以帮助运行和维修人员更快地了解和熟悉设备的运行和维护要求。这些课程包括航改型燃气轮机发电机组的基本理念、常规操作指南和维护练习。

## 7 买方的设备和服务

### 7.1 土木

为了能够提供完整的运行装置，买方或安装方需提供基本供货范围之外的附加设备和服务，包括但不限于：

- 基础——设计和施工，包括所有预埋件，如底板、地脚螺栓、导管等。
- 接地网和接地设备
- 必要的排污系统，包括集液池和排污管道。

### 7.2 机械

- 天然气：提供加热装置使燃料加热到高于其露点 50 °F / 28 °C。华电通用燃料规范请咨询华电通用。
- 为注水系统提供所需压力的除盐水。
- 按要求为水洗系统提供压缩空气。
- 如有需要，提供防冰系统所需的加热液体。
- 如有需要，提供进气冷却系统所需的冷冻液。
- 通风管道，如有需要。
- 烟气膨胀节、管道、弯头及烟囱，如有需要。

### 7.3 电气

- 为燃机控制柜（TCP）和其他室内型控制设备提供带空调的控制室
- 为燃气轮机的启动和辅助程序提供 400VAC 电源。
- 从发电机出线柜到买方电力系统的电力连接（电缆或母排）
- 从基座内部接线端到燃机控制柜及买方系统的电气控制连接。
- 为辅助设备提供动力的马达控制中心（MCC）和辅助变压器。
- 以下电缆：
  - 在 TCP 与 MCC 之间、及与其它受控设备之间的控制电缆。
  - 从买方电气系统到 MCC、从 MCC 到其载荷装置的动力电缆。
  - 125 VDC 电池和充电系统上下游的动力电缆。

更多定义请见单线图。

#### 7.4 由其他方提供的其它材料和工作

- 场地设施
- 支持燃气轮机管路、降噪和管道工程的钢铁工程和悬吊工作
- 除了在供货范围内的所有进气、排气及通风管道
- 从成套机组到远程点的疏放和/或排空管道
- 燃料的储存、处理和运送系统
- 电力系统研究
- 设备的卸载、现场运输和存储
- 除了本文中描述之外的培训

#### 7.5 其他

- 设备的运输、卸载、放置到混凝土基座上以及安装。
- 施工服务，包括电力、照明、临时加热器、测试设备、压缩空气、起重机及所有需要的标准工具。
- 对所接收设备的仓储和安保。

#### 7.6 供货范围的界限

以下列出了华电通用的供货范围的界限。所有的连接到这些装置的管路、接线、电缆、管道等将由客户提供。（除非特定的协议中有更改）

设备系统	供货范围界限点
中压接口	主机模块上出线柜母排
低压接口	成套机组上的进线端子排/接线盒
发电机接地	主机模块上的中性点柜
其它设备的接地	每个模块的接地片、栓、柱
电机	每个电机的接线盒

主机模块上的仪表接线	主机模块上的接线盒
燃机控制柜中的仪表接线	燃机控制柜中的接线端子
气体燃料系统	主机模块上的法兰、或焊接接口
清洗水/清洗液	水洗小车上的螺纹接口
冷却水/加热水	空气过滤器冷却/加热盘管或润滑油模块上的法兰或螺纹接口
仪用压缩空气和杂用压缩空气	主机模块和辅机模块上的法兰或螺纹接口
燃机排气	主机模块上的燃机排气法兰（不包括配接法兰）
燃机主机模块上的气体燃料放散	燃机主机模块上的焊接接口
安装在客户管道上的气体燃料截止阀和放散阀	阀门散装运输，由买方在现场安装在客户的管道上
燃机润滑油的油/气分离器排放	主模块上的燃机润滑油排放接口
主机模块上的排污	主机模块上的排污接口
油箱疏放	每一个油箱上的带有手动阀或 NPT 堵头的疏油口