

华电通用 LM6000PD/PF 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

1	性能及参数	1
1.1	高可靠性和高可用性	1
1.2	灵活高效的运行特性	1
1.3	出力增强	2
1.4	ISO 工况性能-简单循环	2
1.5	性能曲线	2
1.6	联合循环性能	7
1.7	排放控制	8
1.8	辅助系统电力负荷需求	8
1.9	运输尺寸及重量	8
2	标准和规范	9
2.1	国际标准要求	9
2.2	中国法规要求	11
3	成套机组主要设备介绍	12
3.1	燃气轮机本体	12
3.2	箱体	13
3.3	底座	13
3.4	尾部排烟	14
3.5	燃料系统	14
3.6	发电机/齿轮箱	14
3.7	空气进气系统	15
3.8	燃机本体润滑油系统	15
3.9	发电机/齿轮箱润滑油系统	16

3.10	液压启动系统	16
3.11	压气机水洗系统	16
3.12	SPRINT（水雾中间冷却）系统	17
3.13	火灾探测和消防系统	17
3.14	燃机控制系统	18
3.15	成套机组防冻措施	18
3.16	成套机组外形示意图	18
4	可选设备	22
4.1	右侧管道连接	22
4.2	左侧出线柜布置	22
4.3	进气冷却盘管	22
4.4	进气防冰盘管	22
4.5	反吹式过滤器	22
5	维护、特殊工具和备件	24
5.1	维护优势	24
5.2	燃机箱体设计	24
5.3	预防性维护检查	24
5.4	视情维护	25
5.5	维修周期	25
5.6	特殊工具	25
5.7	推荐备件	25
6	服务能力	26
6.1	工厂动态测试	26
6.2	图纸和服务手册	26

6.3	安装和启动服务	27
6.4	现场性能核实	27
6.5	推荐的备品备件	27
6.6	运行和维护培训	27
7	买方的设备和服务	28
7.1	土建	28
7.2	机械	28
7.3	电气	28
7.4	由其他方提供的其它材料和工作	29
7.5	其他	29
7.6	供货范围的界限	29

1 性能及参数

LM6000 燃气轮机源自通用电气 CF6-80C2 型商用航空发动机。该发动机在 1985 年首次进入航空服务，并在宽体客机中得到了广泛应用。目前，已有超过 3500 个 80C2 型航空发动机在使用或订购中。其高效、可靠的运行特性得到了多年的验证。基于该航空发动机的技术平台改制的 LM6000 系列燃气轮机，发电能力最大超过 50MW，通过增强现代化设计、改善机组的安装维护特性和效率，始终为客户提供可靠的技术，目前在全世界的运行机组数已近 1200 台。

LM6000 燃气轮机成套发电机组可用于简单循环、联合循环及热电联产的应用，能满足广泛的客户需求。其 10 分钟快速启动的性能，使 LM6000 不仅可承担基本负荷，更可用于频繁启停、调峰或快速响应电网调度的模式。通过 15 年多在发电领域的应用经验，从阿拉斯加寒冷的北极斜坡道，到尼日利亚的沙漠，和澳大利亚的沿海环境，LM6000 证明了自己的完美性能。

1.1 高可靠性和高可用性

LM6000 燃气轮机发电机组通过从 1992 年至今已安装的将近 1200 台装置证实了自己良好的可用性和可靠性，以其超过 99.7% 的可靠性和 98.6% 的可用性引领行业。每一台燃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和机械完整性。每一套燃机成套发电机组都经过了工厂的静态测试或者全负荷动态测试以确保其各系统的良好状态。航改型燃机设计方法充分利用了航空的设计经验、结构和材料，融合其独特的产品特征，如水平剖分式外壳、模块化结构及内外部件的独立替换。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，视情维修是指根据实际情况进行检查维修从而达到一个理想的运行状态。

1.2 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。LM6000 燃机最快可以实现 3 分钟从冷态到满负荷启动过程）、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。

1.3 出力增强

LM6000 的输出动力可通过不同的选项来增强。SPRINT®系统通过向压气机入口喷入雾化水，从而提高燃气轮机出力。另外，通过使用进气冷却功能，LM6000 能大幅度提高在较高环境温度下的工作性能。客户可以就入口空气冷却咨询华电通用公司，以优化全厂经济性。

1.4 ISO 工况性能-简单循环

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
LM6000 PD/PF	天然气	干式低排放 (DLE)	42,623	8697	41.4%
LM6000 PD/PF SPRINT	天然气	DLE	47,360	8675	41.5%

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）。

1.5 性能曲线

- LM6000PD 在不同环境温度下的出力 图 1-1
- LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的出力 图 1-2
- LM6000PD 在不同环境温度下的效率 图 1-3
- LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的效率 图 1-4
- LM6000PD 在不同环境温度下的排烟温度 图 1-5
- LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的排烟温度 图 1-6
- LM6000PD 在不同环境温度下的排烟流量 图 1-7
- LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的排烟流量 图 1-8
- LM6000PD 在不同环境温度下的余热换蒸汽量 图 1-9
- LM6000PD SPRINT 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。

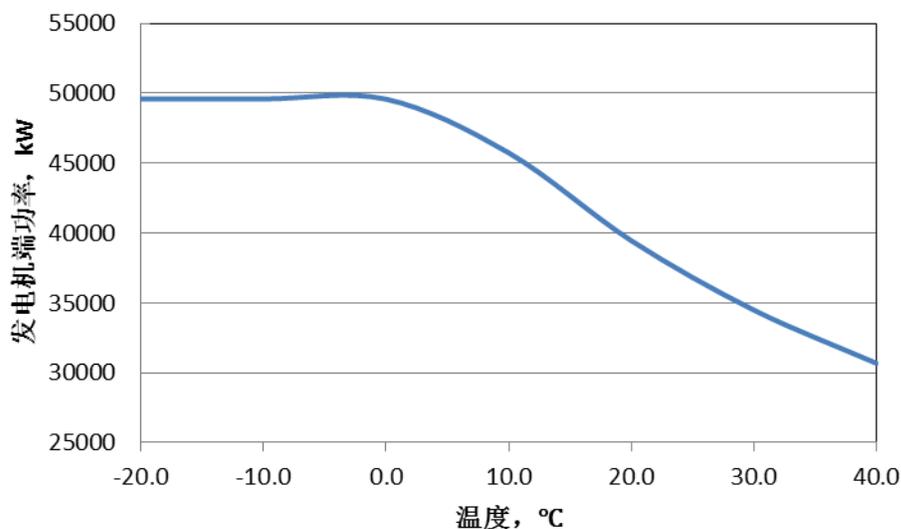


图 1-1 LM6000 PD 在不同环境温度下的出力

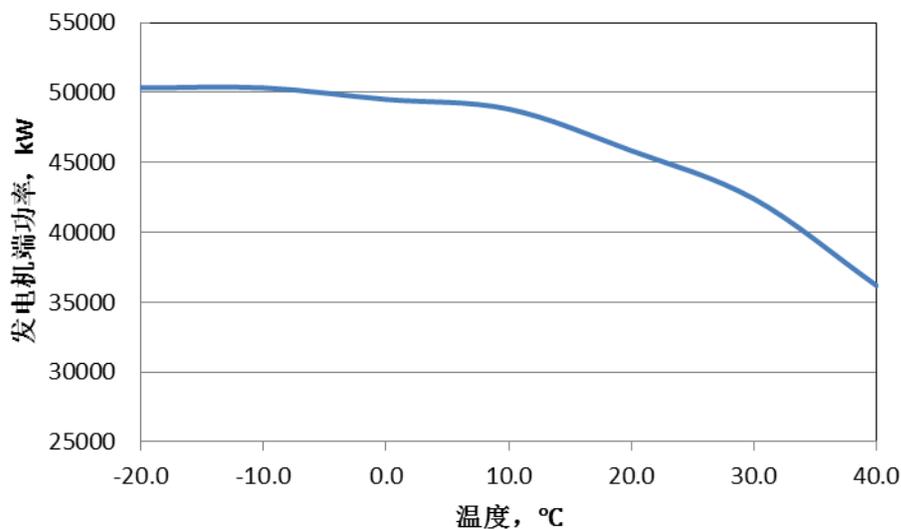


图 1-2 LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的出力

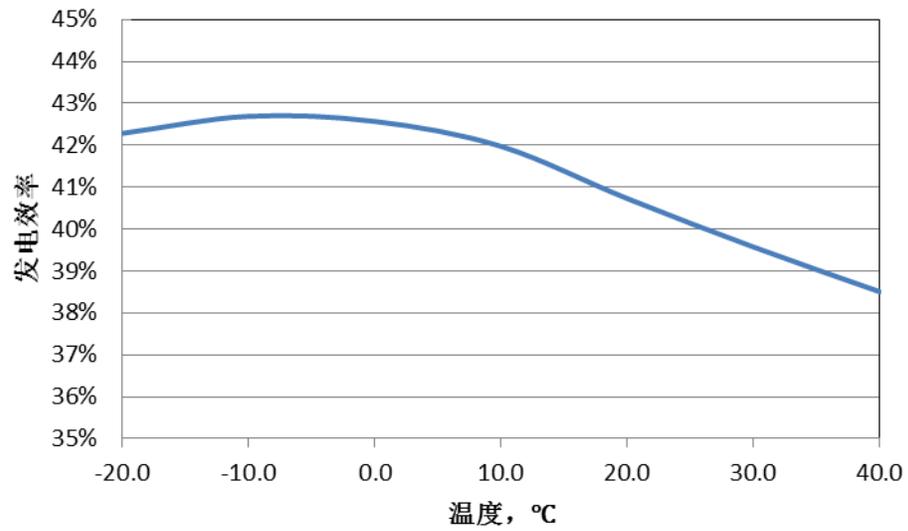


图 1-3 LM6000PD 在不同环境温度下的效率

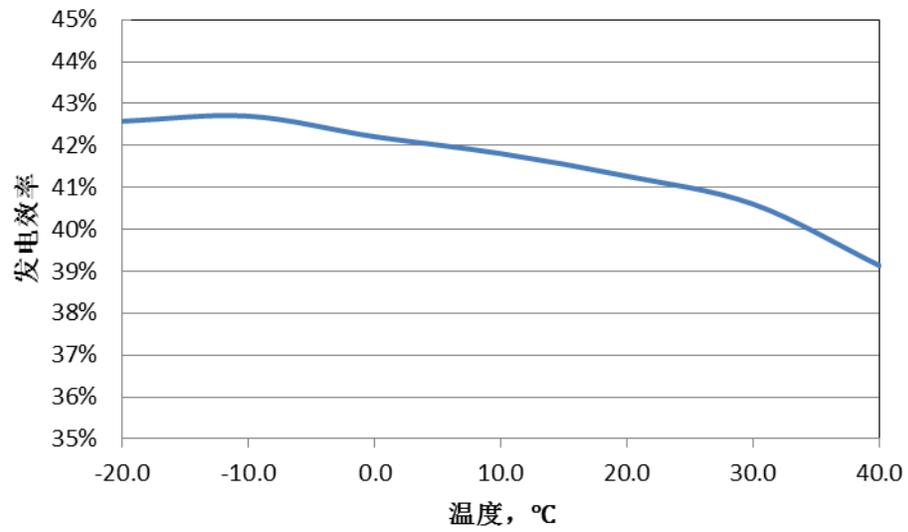


图 1-4 LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的效率

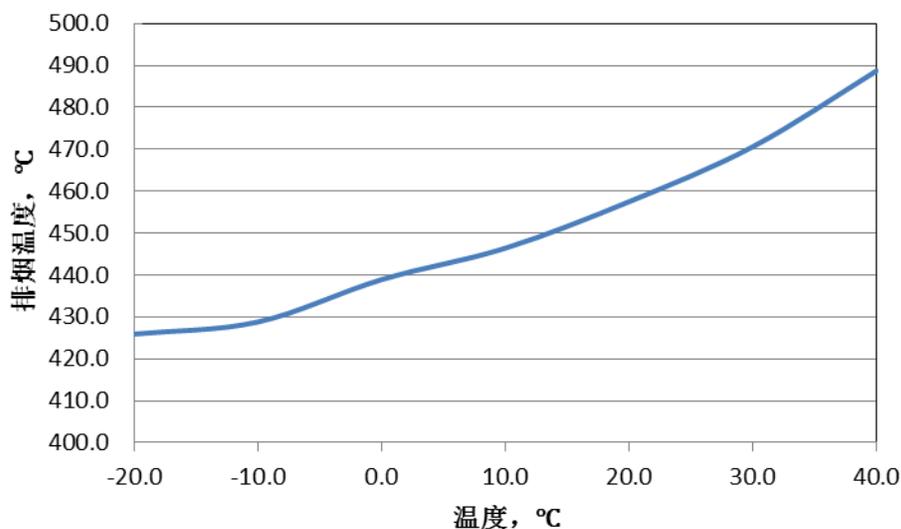


图 1-5 LM6000PD 在不同环境温度下的排烟温度

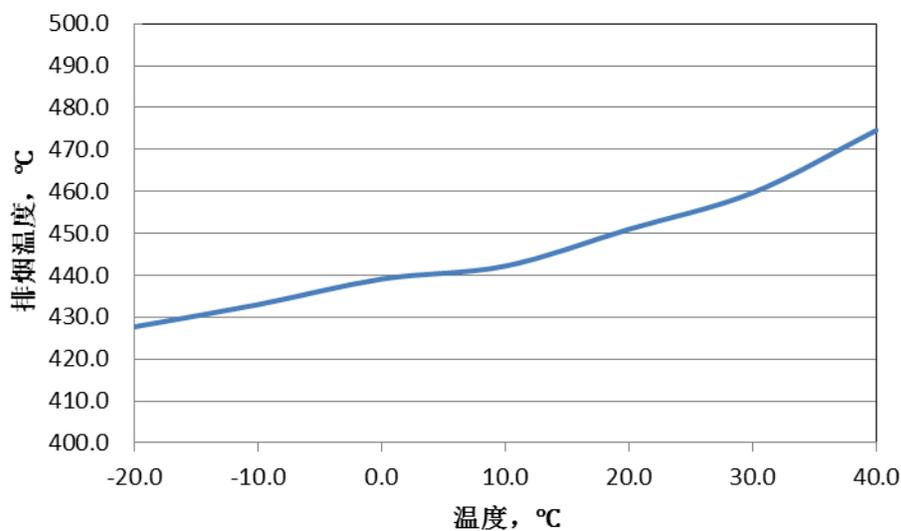


图 1-6 LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的排烟温度

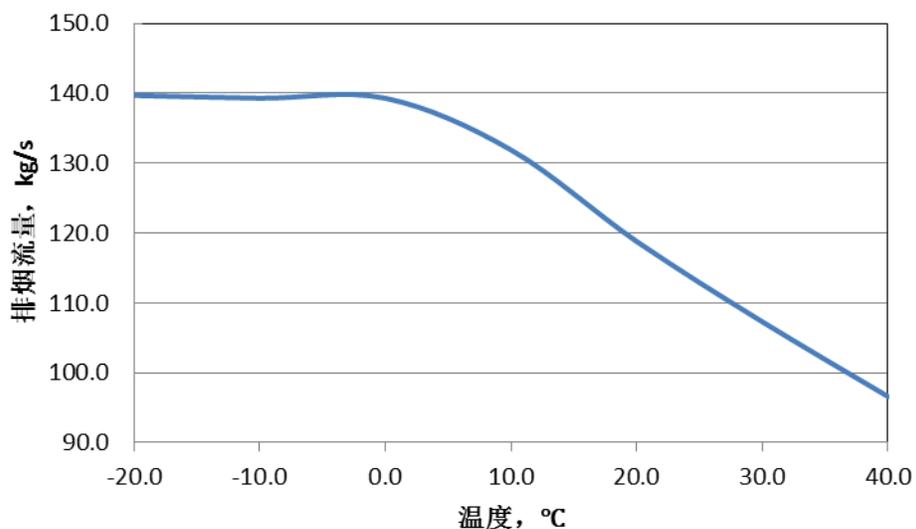


图 1-7 LM6000PD 在不同环境温度下的排烟流量

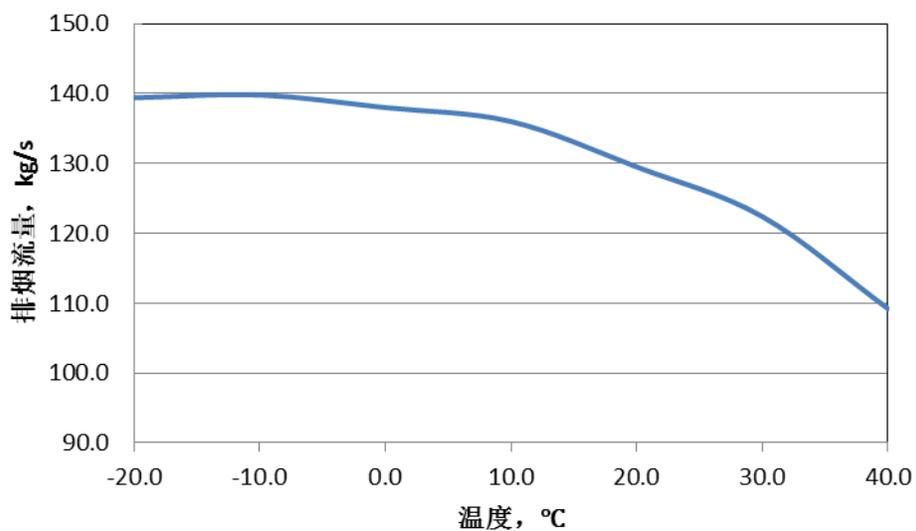


图 1-8 LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的排烟流量

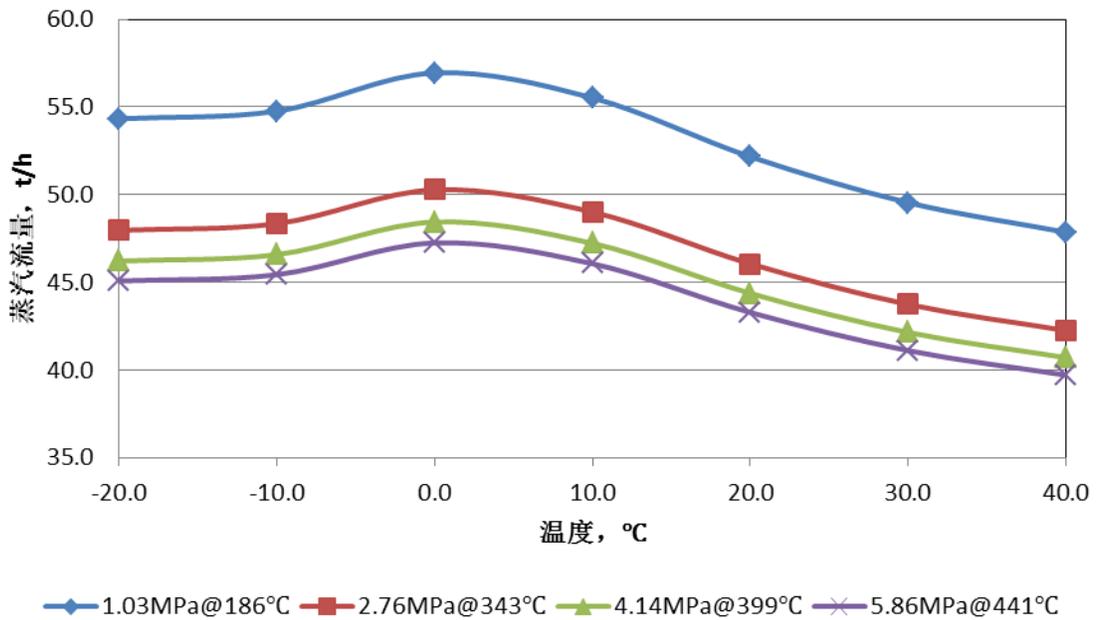


图 1-9 LM6000PD 在不同环境温度下的余热换蒸汽量
(估算值, 余热锅炉平均换热效率 85%)

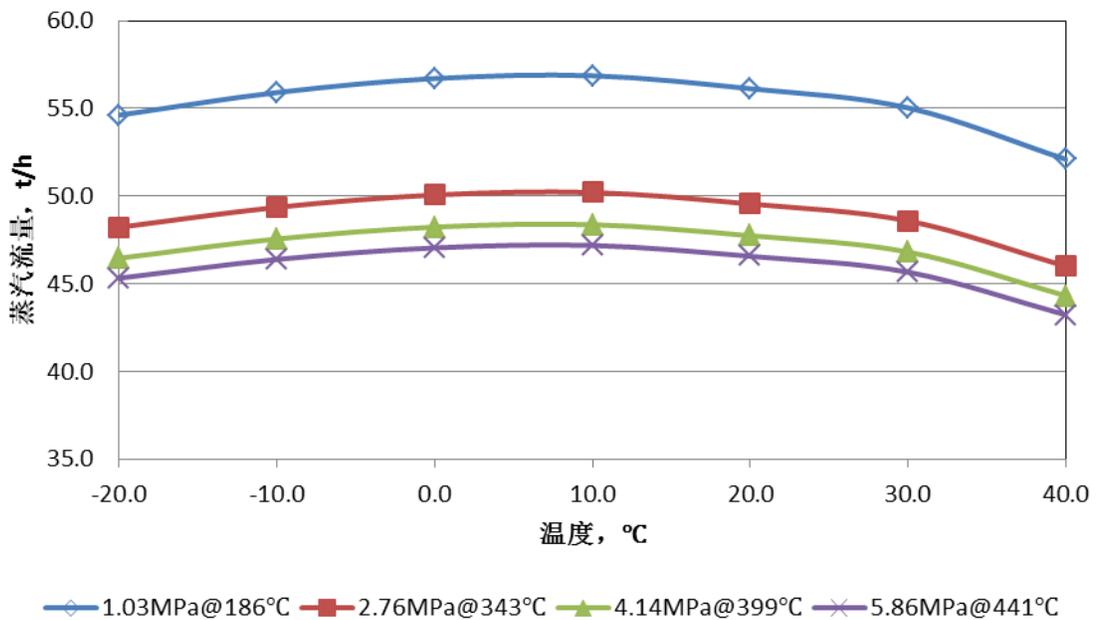


图 1-10 LM6000PD SPRINT 在不同环境温度下的余热换蒸汽量
(估算值, 余热锅炉平均换热效率 85%)

1.6 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 LM6000PD/PF SPRINT 为主机配置的纯凝发电联合循环机组的功率输出约为 59MW，系统净发电效率可达 53%。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。

1.7 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 _x 排放水平
LM6000 PD, 50 Hz	天然气	干式低排放 (DLE)	50mg/Nm ³
LM6000 PF, 50 Hz	天然气	干式低排放 (DLE)	30mg/Nm ³

1.8 辅助系统电力负荷需求

典型的 LM6000PD/PF SPRINT 机组辅助系统正常运行时的电力负荷需求约为 290kW。

1.9 运输尺寸及重量

下表列出了典型的 LM6000PD/PF 机组主要部件的毛重和外形尺寸供参考。

表 1-3 大件运输尺寸及重量

部件	毛重 kg	宽度 mm	长度 mm	高度 mm
燃机箱体底座	46,221	4,115	8,804	4,404
发电机箱体底座	55,792	4,115	10,871	4,404
发电机	72,900	3,137	7,328	2,794
发电机润滑油模块	21,500	2,797	3,701	3,419
辅助模块	10,000	3,200	4,267	3,505

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

满足相关的中国强制性法律、法规、规范的要求。

3 成套机组主要设备介绍

3.1 燃气轮机本体

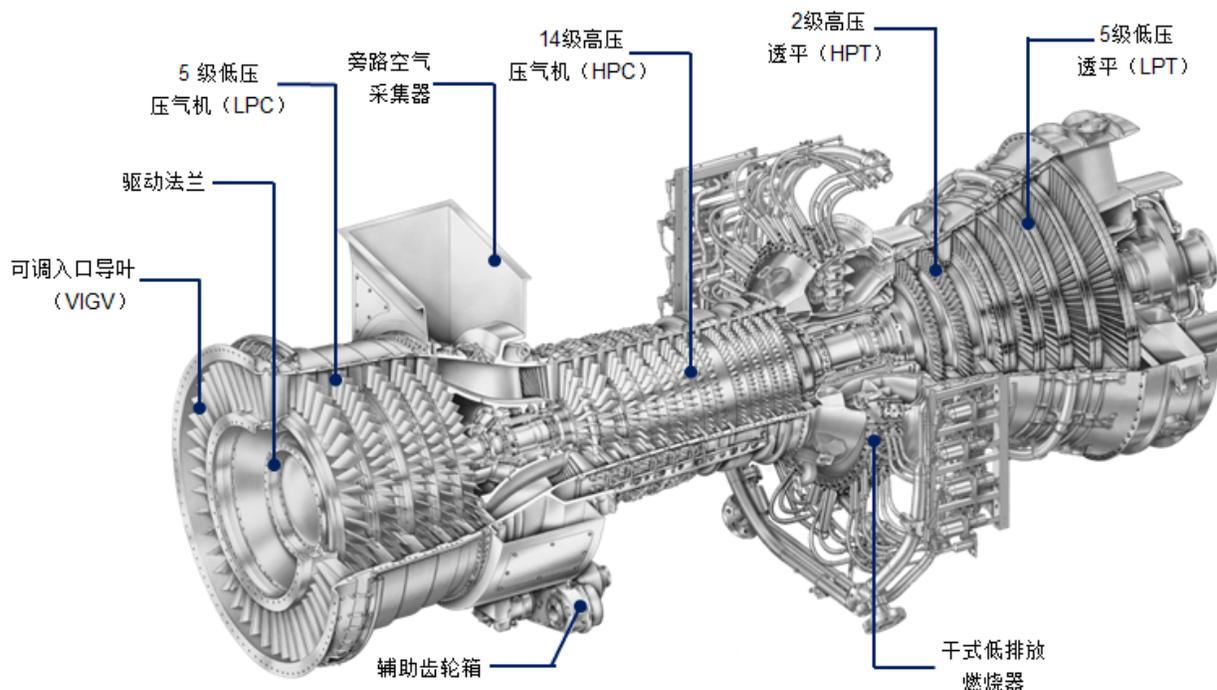


图 3-1 LM6000PD/PF 燃机本体

LM6000 PD/PF 是双轴燃气轮机，由一个 5 级低压压气机（压缩比为 2.4:1），一个 14 级高压压气机（压缩比为 12:1），一个 2 级高压透平，和一个 5 级低压透平组成。低压压气机入口配置可调式进气导叶，高压压气机的前 5 级静叶也可以调节，以保证燃气轮机在部分负荷下的高效率并防止压气机发生喘振。LM6000 PD/PF 的两根轴——高速轴和低速轴同心套轴布置，高速轴由高压压气机及驱动它的高压透平组成，低速轴由低压压气机及驱动它的低压透平组成。发电机通过减速齿轮和联轴器连接到低速轴，由低速轴驱动发电机。

LM6000PD/PF 燃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。

LM6000 PD/PF 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。

燃机本体主要部件：

- 5 级低压压气机 (LPC)
- 14 级高压压气机 (HPC)
- 干式低排放 (DLE) 燃烧器
- 75 个预混燃烧喷嘴及双点火器
- 2 级高压透平 (HPT)，喷嘴和叶片用压气机抽气冷却
- 5 级低压透平 (LPT)
- 用于诊断检查的孔窥检查口
- 配置了启动盘车装置、润滑油供/回油泵和液压油泵的辅助齿轮箱
- 干式柔性联轴器及防护罩
- 燃料管道和控制阀门
- 各种仪表 (温度, 压力, 振动等)

3.2 箱体

燃气轮机成套机组的燃机本体、发电机和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 240km/h 的风速，同时还兼有隔热和降噪的功能，能够在燃气轮机满负荷稳定运行时，保证基座平台上方 1.5 米处、成套机组外 1 米周围的噪音算术平均值降低到 85dB(A)。燃机本体和发电机的箱体都带有检修门和交流、直流照明。

箱体通风系统能够带走燃机箱体和发电机箱体内部的热量，并能够在气体燃料系统故障时排走可燃气体。燃机箱体的两个排风扇（一用一备）安装在通风空气出口处，使燃机箱体内产生负压；而发电机箱体的两个送风机（一用一备）安装在通风空气入口处，使发电机箱体内产生正压，进一步阻隔来自周围可能的可燃气体泄漏。这样，发电机箱体内就是非危险区域。

燃机和发电机箱体内都配备有可燃气体探测系统和消防系统。

燃机箱体内配备有集成的桥式起吊装置以便于检修期间燃机的移出。

3.3 底座

燃气轮机成套机组的底座是由结构钢焊接而成的刚性支撑结构，此支撑结构在燃机本体和发电机处分开，分别用于支撑燃气轮机和发电机。底座通过地脚螺栓固定在混凝土地基

上。底座的刚性设计符合标准 IBC 2009 的要求，适合在地震多发地区进行安装，同时还为运输提供了方便。

底座的不同部分采用圆锥销连接，现场对齐非常方便。

3.4 尾部排烟

LM6000 PD/PF 型燃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。烟气集气器的排放口是一个环形法兰接口，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，用来平衡燃机的热膨胀。LM6000PD/PF 燃机是热端轴向排气。

3.5 燃料系统

LM6000 PD/PF 使用天然气作为燃料，DLE 燃烧系统不用注水就能满足 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ (LM6000PD) 或 $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ (LM6000PF) 的 NO_x 排放要求。

LM6000PF 是在 LM6000PD 的基础上，对燃料和燃烧系统进行改进，在不降低其它性能的情况下，把 NO_x 的排放进一步降低到 $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

气体燃料系统包括以下主要部件，它们装在燃机箱体内，靠近燃机本体：

- Y 型燃气过滤器
- 压力、温度仪表
- 燃气关断阀
- 燃气放散阀
- 燃气流量控制阀
- 燃气歧管及分段控制阀

燃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。分段控制阀用来控制在不同负荷下的燃烧模式，降低 NO_x 排放。

供到机组底座接口处的天然气压力必须满足 $4654 \pm 138\text{kPa}$ 的压力要求。燃料气的具体规范请参见下文第 7 章。

此外，客户需要在燃机箱体之外、客户提供的燃料管线上，按照华电通用的要求，安装主管道截止阀和放散阀，这两个阀门由华电通用提供并由燃机控制器控制。

3.6 发电机/齿轮箱

LM6000 PD/PF 机组配备一台 BRUSH 公司生产的两极三相同步空冷发电机，其型号为 BDAX 7-290ERJT，额定参数：频率为 50Hz，3,000 转/分钟，标准发电机出口电压为 10.5kV，额定功率因数 0.8，15℃ 冷却空气温度时功率为 50.2MW。发电机包括了一个配备永磁机和励磁机的无刷励磁系统。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。

发电机布置在发电机箱体内，采用开式空气冷却，从机组空气过滤器来的空气，经过送风机进入箱体内，再经过发电机两端的转子风扇进入发电机内部进行冷却，最后热空气通过发电机顶部排出。

闭式水冷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，向发电机提供冷却水。

发电机的无刷励磁控制系统为 GE EX2100e，安装在燃机控制柜（TCP）内。励磁控制器的电源一路来自发电机主轴上的永磁机，另一路来自客户提供的 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，负责发电机的保护、控制和监测。发电机保护继电器安装在燃机控制柜（TCP）内。

LM6000 PD/PF 机组配备一台减速齿轮箱，将燃气轮机输出轴的转速从 3600rpm 降到 3000rpm 来满足 50Hz 的应用。齿轮箱的输入轴通过一个柔性联轴器和燃气轮机的低压透平轴连接，输出轴连接到发电机的驱动端。

3.7 空气进气系统

LM6000 PD/PF 配备一个模块化的多级静态过滤系统，安装在燃机/发电机箱体上方，给系统提供助燃空气和通风空气。它包含有进口滤网、预过滤器和精密过滤器。通过 3 级过滤，可以把空气中 5 微米及以上的颗粒过滤掉 99.9% 以上。经过过滤的空气分成三路，一路作为助燃空气进入燃烧室，一路进入燃机箱体，另一路进入发电机箱体。

根据客户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冻盘管，在可能出现结冰的情况下，提供热水来加热燃烧空气。经过滤的空气在进入燃机燃烧室前要进行消音。过滤器壳体内部还提供了照明，方便检查和维修。机组还提供平台，支架和梯子，以便过滤器的维护。

3.8 燃机本体润滑油系统

燃机本体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）、安装在辅助模块上的油箱、滤油器和冷油器、以及布置在燃机箱体顶部的油/气分离器等组成。供油泵、回油泵以及液压油泵由燃机的高速轴通过辅助齿轮箱（AGB）来驱动。燃机液压油泵主要用来驱动燃机可调静叶的执行机构和压气机旁路阀的执行机构。

LM6000 PD/PF 燃气轮机本体使用合成润滑油来润滑。从回油泵出来的润滑油，依次通过滤油器和冷却器回到主油箱。回油管路上安装有磁性探测器，用来监测轴承的磨损状态。供油和回油的温度也是被监测的。双联 2×100%管壳式冷油器对回油进行冷却，客户需提供冷却水至冷却器。润滑油箱和管线都采用 304 不锈钢制成。

3.9 发电机/齿轮箱润滑油系统

发电机/齿轮箱润滑油系统向发电机的径向轴承和推力轴承、以及减速齿轮箱提供润滑和冷却。此润滑油系统构成了一个单独的润滑油模块。它由油箱、两台交流液压泵组、一台直流液压泵、顶轴油泵、滤油器、油/气分离器、以及双联管壳式冷油器等组成。

两台交流润滑油泵一用一备，在失去厂用交流电的情况下，直流润滑油泵组仍然可以保证发电机的安全停机。客户需要向此直流马达提供 125V 的直流电源以及控制。双联 2×100%管壳式冷油器独立布置，对回油进行冷却，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）上的启动马达和安装在辅助模块上的液压启动系统组成。辅助模块上的电动油泵组将液压油泵送至燃机本体上辅助齿轮箱内的启动马达，进而驱动燃机的高速轴。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。当用于压气机离线水洗时，压气机转速可达 1200 转/分钟。在燃机启动前吹扫过程中，压气机转速可达 2300 转/分钟，吹扫结束后，压气机转速降到 1700 转/分钟后开始点火，当压气机转速达到 4600 转/分钟后启动马达脱离。

3.11 压气机水洗系统

当内部空气通道处于不清洁的状态时，所有的燃气轮机都会表现出较低的性能。为此 LM6000 型燃机配备了水洗系统用于压气机的清洗。水洗系统包括在线水洗系统和离线水洗（盘车浸泡）系统。离线水洗可在机组停机后对压气机进行彻底的浸泡和冲洗。在线水洗用于在机组运行时除去压气机叶片上的积垢。

压气机水洗系统是由安装在辅助模块上的水箱和水泵、以及安装在压气机入口的两组喷嘴（分别用于离线水洗和在线水洗）等组成。

客户需要按照华电通用的要求，提供压缩空气、清洗水、清洗液以及防冻液。清洗用水和清洗剂的要求详见第 7 章。清洗程序应严格遵守华电通用的运行维护手册。

3.12 SPRINT（水雾中间冷却）系统

SPRINT 系统适用于所有的 LM6000 机组，它通过向低压或者高压压气机入口喷入雾化水，来有效降低燃烧空气温度，提高机组功率和效率。SPRINT 系统包括一个独立布置的 SPRINT 模块和燃机本体上的管路和喷嘴组。

SPRINT 模块是一个单独布置的模块，主要包括电动马达驱动的水泵、管路和阀门。客户需要按照华电通用的要求提供除盐水，除盐水的水质要求详见第 7 章。

3.13 火灾探测和消防系统

LM6000 PD/PF 成套机组提供一个工厂组装好的火灾探测和消防系统，以探测设备箱体内部的火情、不安全温度或爆炸性气体，若探测到火情，系统将释放 CO₂。灭火系统主要包括以下设备：

- 一个单独模块上的二氧化碳气瓶(包括主/扩展两组二氧化碳瓶组)
- 燃机箱体和发电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
- CO₂ 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部的通风风扇，并鸣响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 CO₂ 灭火剂。主气

瓶组和扩展气瓶组同时触发并释放。CO₂ 要达设计浓度约需 60 秒的时间。主气瓶组 CO₂ 灭火剂为快速释放，扩展气瓶组 CO₂ 灭火剂为慢速释放。

3.14 燃机控制系统

燃机控制柜（TCP）布置在客户的非危险区域内，包括了燃机控制器、振动监测（BN3500），发电机保护继电器、多功能数字仪表、消防系统控制器、发电机励磁自动调节器等。燃机控制器采用 Woodward Micronet+系统，负责控制润滑油系统，燃料、燃烧系统，通风和冷却系统，以及灭火保护等。

燃机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 显示燃机运行数据和模拟画面，还包括操作员输入界面。

3.15 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：

- 燃烧空气的防冻盘管
- 加装罩壳或者太阳罩
- 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）

3.16 成套机组外形示意图

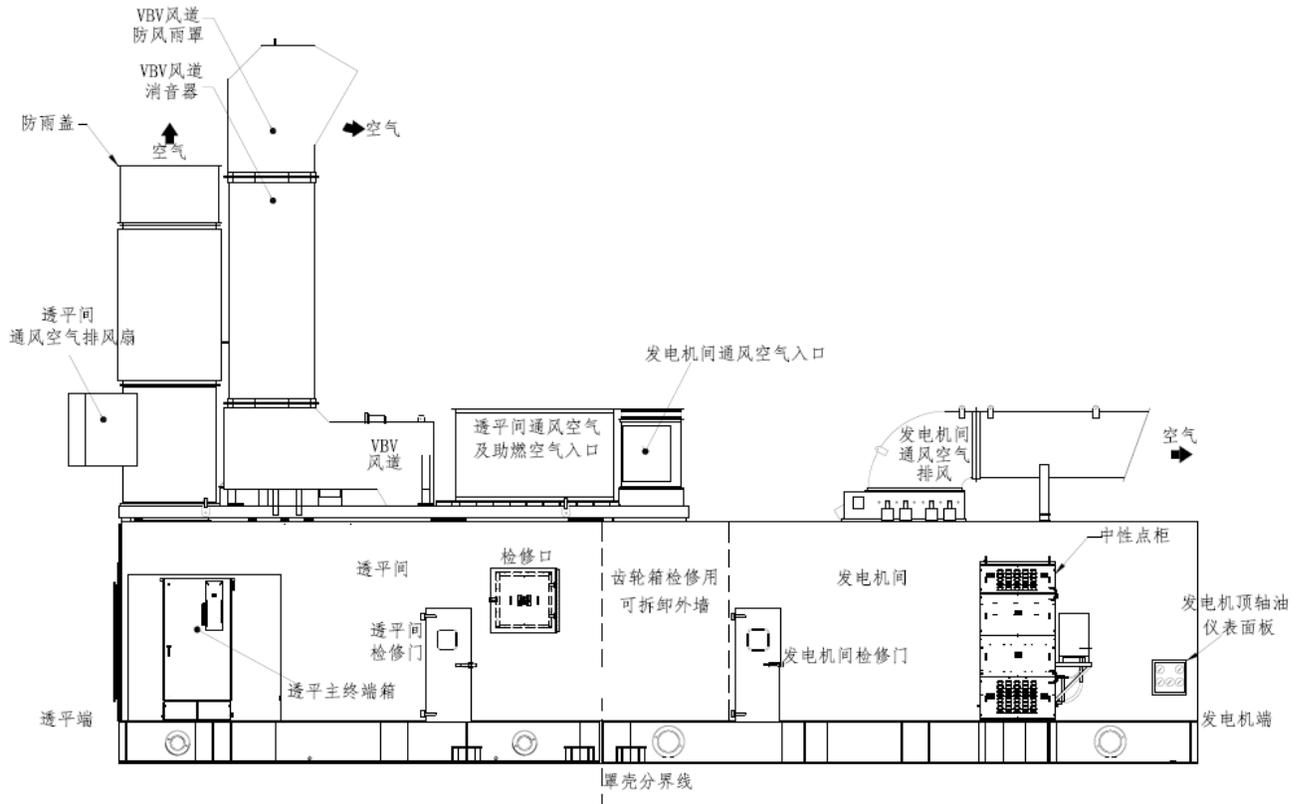


图 3-3 LM6000 左侧视图

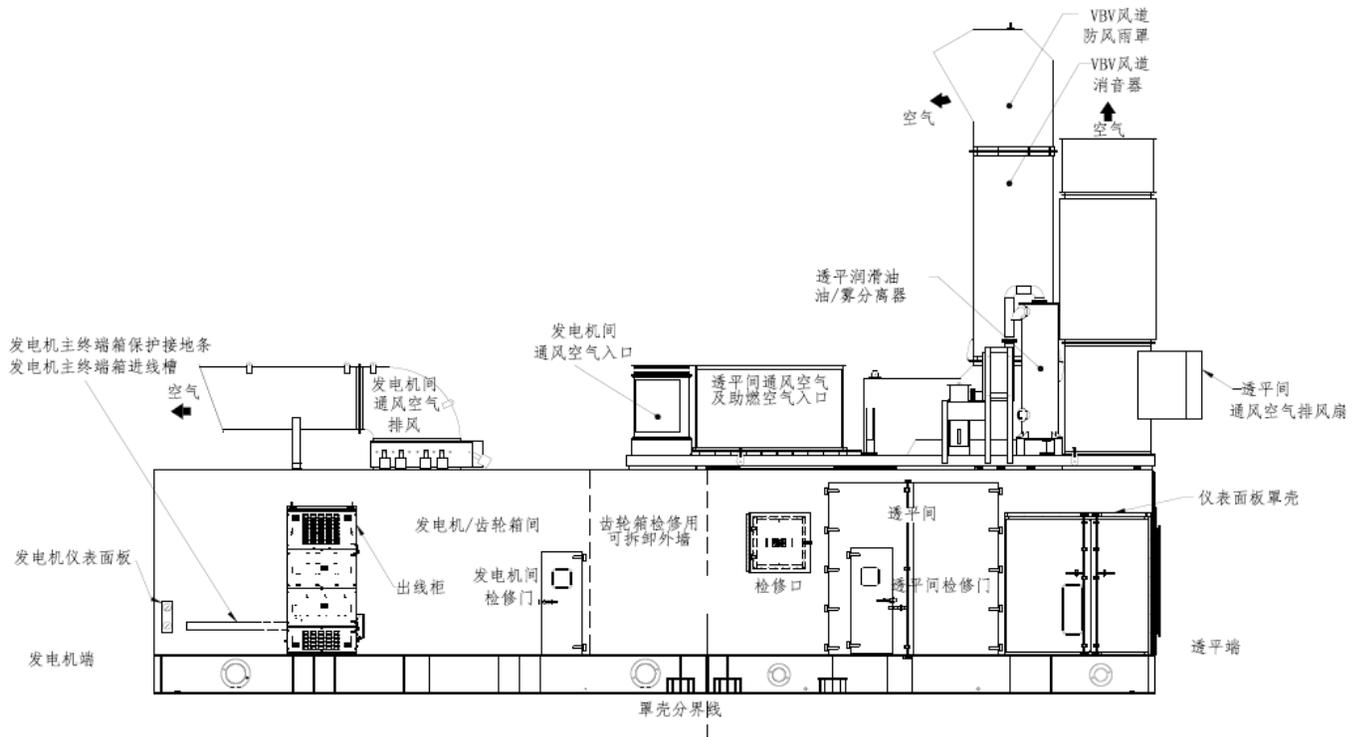


图 3-4 LM6000 右侧视图

4 可选设备

第3章中列出的设备均包含在标准的LM6000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
- 左侧出线柜布置/右侧出线柜布置
- 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LM6000配置中，从发电机励磁端向透平看时，客户的管道连接在左侧。作为可选项，该管道连接可以设于右侧。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LM6000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LM6000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。

LM6000 的简化设计有助于减少这方面的损失。整个 LM6000 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，并且提供一个内部桥式起吊装置能够为大修加快燃气轮机的拆卸。

华电通用根据客户的不同需求设计了各种服务程序。这些程序向客户提供了不同选项，这些选项将在下面的章节中介绍。

5.2 燃机箱体设计

燃气轮机成套机组的透平间内包括防冲击隔振装置，该装置允许燃机本体安装在透平间内进行运输。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。透平间包括内置照明和舒适的工作空间。桥式起吊装置可轻松的将燃气轮机提升和转向从而从侧面卸载燃气轮机。

5.3 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。

5.4 视情维护

LM6000 的设计适用于进行视情维护。每一至六个月的周期内，可对燃机进行彻底的孔窥检查。通过燃机本体上的 21 个孔窥检查口，能为所有主要的内部部件提供严密的检查。

5.5 维修周期

华电通用提供的 LM6000 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。

5.6 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 LM6000 的基本供货范围内包含了一套燃机起吊工装。该起吊工装和透平间的桥式起吊装置，可以实现将燃机本体整体起吊并移至检修区域。

5.7 推荐备件

若客户需要，华电通用可提供典型 LM6000 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，且机组将在没有任何注水（如 SPRINT）的情况下运行。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订购活动。

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 土建

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。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	卖方供货范围界限点
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	中性点柜
其它设备的接地	每个模块的接地排、栓、柱
电机	每个马达的接线盒
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	辅助模块上的法兰或螺纹口
冷却水/加热水	润滑油模块和防冰/ 冷却 上的法兰或螺纹口
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口
燃机排气	主机模块上的燃机排气法兰
燃机模块上的气体燃料放散	燃机主机模块上的法兰或焊接接口
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，由客户在现场安装在客户的管道上
发电机润滑油油/气分离器排放	到大气的排放口
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
Sprint 系统除盐水	SPRINT 模块和主机模块上的法兰或螺纹口