

用于备用市场的 天然气发电机组

Diane Clifford

卡特彼勒能源解决方案
市场顾问

引言

大规模备用电力市场已经有目的地转向天然气发电机组。

几十年来，柴油发动机发电机组一直在备用市场中占据主导地位，天然气发动机发电机组很少被考虑。然而，气体燃料发电已经在电力应用中被广泛接受，例如负载管理和热电联产 (CHP)。

如今，随着燃气发动机满足数字化启动时间和负载接

受标准的能力不断实现巨大改进，已经出现燃气发动机优于柴油发动机的应用。事实上，有些应用类型中的排放规则和燃料安全问题使燃气发动机成为最佳选择。

专为备用任务而设计的最新燃气发动机可以随时接受与柴油相当的时间跨度负荷。专门针对备用任务的燃气发动机的重新配置使天然气发电机组成为关于工业和商业设施电力安全的主流对话。

趋势推动变革

传统上，备用电源一直属于柴油市场，因为柴油机特性本身就适合。柴油发动机具有高功率密度，在紧急启动期间具有较低的首次成本和快速承担负载的能力。运营成本在很大程度上是无关紧要的，因为备用发电机组通常每年运行不到100小时，并且通常仅用于定期运行。此外，排放要求很容易满足，不是主要问题。

同时，燃气发动机的功率密度较低，首次成本高于柴油发动机，设计用于更广泛的工况。在这个应用类型中，燃料成本、维护成本和排放一直是并且仍将是关键问题。然而，最近的事件暴露了柴油发动机在某些应用中的一些限制因素。

例如，在经历过墨西哥湾沿岸的卡特里娜飓风和东海岸上游的飓风桑迪等重大风暴之后，某些地方的柴油发电机组在停电期间没有运行。一些燃料储罐因洪水而受损。洪水或碎物堵塞了街道和高速公路，使燃料

卡车无法交付，导致燃料耗尽。与此同时，天然气管道网络受到的影响微乎其微。

更广泛地说，柴油备用发电机组受到排放法规的限制，特别是在空气质量未达到美国环境保护局 (EPA) 标准的情况下。在大多数地区，Tier 2 级别柴油备用发动机的排放是可以接受的，只要它们每年运行100小时或更短时间 (不包括实际紧急任务的小时数)。然而，在洛杉矶和纽约市等不达标地区，美国环保局的法规限制了站点的最大年度氮氧化物排放量。

备用柴油容量大的设施可能超过场地排放限制并面临重大罚款，仅适用于定期运行设备的排放。即使以更高的成本升级到Tier 4 柴油技术，也可能无法提供完整的补救措施。在这种情况下，天然气燃料备用电源的优势显而易见——今天的高效稀燃发动机可以在排放完全合规的情况下长时间运行，同时满足严格的启动时间和负载承受要求。

转换到燃气备用

用于备用电源的天然气燃料发动机不是一个新概念。多年来，为负荷管理 (需求响应) 安装的燃气发电机组偶尔会作为主要可选应急电源承担双重任务。同样，当需要备用电源时，CHP 的燃气发电机组通常在线。

这些主要和连续应用通常涉及比纯待机更多的年度运行时间。燃气发动机可以提供比传统柴油技术更清洁的废气排放，而无需昂贵的后处理。在这些机组中，快速启动和快速负载接受是次要的。

燃气发电机组是纯待机负荷的新概念，尤其是500 kW 及以上的高增长部分。在这里，燃气发电机组必须满足与柴油机相同的要求，以便启动和接受满载 (表1)。

那么问题就变成了如何重新设计天然气发动机，以实现类似柴油机的待机性能。这需要了解要供电的负载，以及发动机以必要的速度带动这些负载所需的能力。改进的燃气发动机性能使其可与柴油发动机相媲美。

带动负载的能力也更强，电压下降和恢复时间也有所改善。

需考虑因素包括：

- 负载类型 (照明、计算机、医疗设备、电机、UPS、制冷机、压缩机、风扇等)
- 线性与非线性负载
- 需要特殊的负载启动装置 (例如用于大型单电机负载的电机启动器)
- 负载大小 (单个设备和一次切换的总负载)
- 所需电能质量 (电压和频率下降、恢复时间、功率因数要求)
- 地理/环境条件 (海拔高度、极端温度和可能限制发动机性能的大气条件)
- 当地可能发生的紧急情况 (类型和持续时间 (风暴、洪水、公共设施长时间中断等))

	基本设备功能	基本规范要求	示例负载
应急备用 NEC 第700 条	保护人们离开建筑物的设备	• 可在10 秒内加载* • 2 小时现场燃料供应 • 90 分钟电池容量	• 出口照明 • 电梯 • 火灾探测/警报 • 消防泵
法律要求备用 NEC 第701 条	为救援人员提供帮助并支持强制性建筑功能的设备	• 可在60 秒内加载 • 2 小时现场燃料供应	• 通讯设备 • 除烟设备 • 污水清除系统 • 工业安全设备
可选备用 NEC 第702 条	不保护人员但保护业务运营的设备	• 没有可用的加载时间限制 • 无需现场燃料	• 数据设备 • 制冷设备 • 可选照明 • 工业设备

表1 应急发电机分类：NEC 第700-702 条

* 根据NEC：备用系统不得仅依赖公共燃料源（燃气管道）供应燃料，除非相关主管部门（AHJ）接受。

迎接挑战

挑战在于如何以市场可接受的价格生产天然气燃料备用发动机/发电机组。设施管理人员不愿意在强制备用装置上花费不必要的费用。

燃气和柴油发动机制造商致力于最大化功率密度（每单位气缸排量的kW 数）以降低设备的初始成本。燃气发动机设计用于在相对均匀的负载和恒定速度下长时间工作，通常在气缸压力显著低于其物理能力的情况下运行。例如，卡特彼勒高效稀燃燃气发动机采用与柴油发动机基本相同的坚固核心部件（发动机缸体、曲轴、连杆、气缸体、气门机构）。它们显然具有能够接受更高功率密度和苛刻待机性能的结构强度，无需进行大范围的重新设计。

任务是使用现有的燃气发动机，了解它们的局限性（如爆炸余量、燃料甲烷值、排气温度和燃油压力），并对其进行修改，以便执行与柴油发动机类似的备用任务，快速启动、快速接受负载和短期运行。

基本问题变成了如何足够快地强制充足的空气和燃料进入气缸，以满足紧急备用性能要求。简单地说，这包括改进燃料系统、空气系统，包括涡轮增压器，最

重要的是电子控制系统中采用的发动机管理映射策略。必须开发电子控制装置，以帮助燃气发动机完成其历史上没有完成的设计。

稀燃备用燃气发动机承载能力的一个关键属性是瞬态加浓。瞬态加浓功能内置于发动机的电子控制策略中，利用稀燃燃烧固有的过量空气，大大增加了在施加大负载时流向气缸的燃料。当大负载完成且发动机恢复到正常运行状态时，气流恢复正常，并且恢复稀燃、低排放空燃比。

燃气发动机现在通过控制系统改进瞬态加浓过程并增加快速作用的空气系统部件，可以提供与备用动力应用类型中的柴油机相媲美的性能。剩下的一个挑战是在常规运行和测试期间（当发动机制造商通常建议将燃气发动机加载到此类目的的至少50%的额定值时），在极轻的负载下运行这些新改进的备用燃气发动机的影响。新设计的Cat® 备用发动机配置为允许每月最多一小时的无负载运行，前提是遵循维护规范。

稀薄燃烧与富氧燃烧

现代稀薄燃烧燃气发动机和较老的富氧燃烧燃气发动机都可以部署在备用服务中。在大多数备用任务中，稀燃技术具有明显的优势。传统上，富氧燃烧发动机具有更大的承载能力，但最近正在有目的地制造稀燃发动机以改善承载性能。

富氧燃烧发动机代表传统的燃气技术，操作简单，初始成本相对较低，在许多应用中证明是可靠的。富氧燃烧发动机的一个关键限制是其较高的气缸温度产生相对较高的氮氧化物排放，需要用三元氧化催化剂控制，安装和维护需要额外的成本。此外，由于较高的废气温度，富氧燃烧功率密度受到限制。

如图1所示，稀燃发动机在气缸中具有过量空气，实现了更低的排气温度、更高的功率密度和更低的氮氧化物排放。这使得燃料效率提高了10%至20%，并且提高了功率密度。

自20世纪80年代以来，稀燃发动机的设计主要是为了在不进行排气后处理的情况下实现低氮氧化物和其他排放，降低气缸内部温度，减少氮氧化物的形成，如图2所示。与富氧燃烧发动机相比，它们的功率密度更高，燃料效率更高，维护成本更低。顾名思义，稀燃发动机在稳态运行时以较低的空燃比运行。

燃气发动机燃烧技术

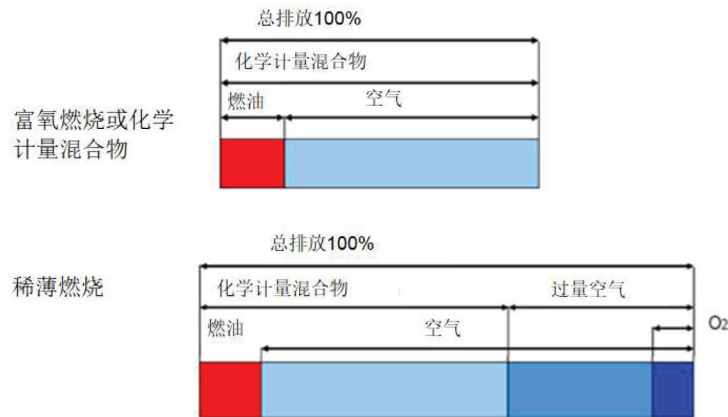


图1：空气/燃料混合物

NO_x 特性

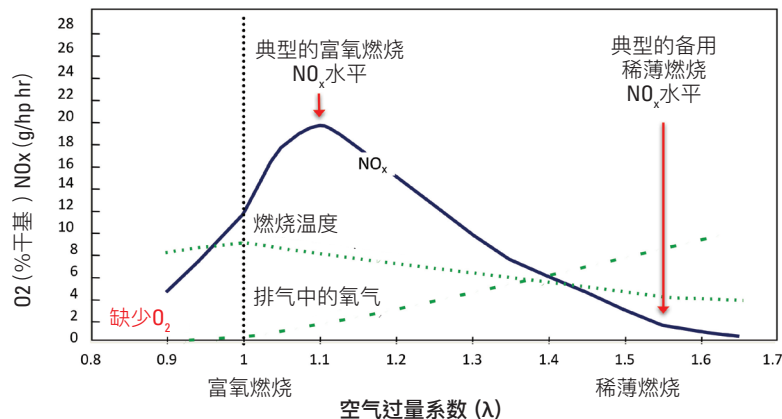


图2：氮氧化物 (NO_x) 特性

比较运营成本

燃气与柴油备用动力的选择还取决于初始成本的比较。在排放规则允许的情况下，Tier 2 级别柴油机保持了比燃气发电机组更高的初始成本优势。但对于需要4 级柴油技术的站点，初始成本差异很快就会消失。在具有同等初始成本的应用类型中，燃气备用发动机通过降低运营成本具有长期成本优势。

例如，虽然柴油机通常每250-300 个工作小时需要换一次机油，但根据负荷系数，燃气发动机的换油间隔为1,000 小时，而在某些型号中则更长。在重大自然灾害发生后，当备用设备可以在恢复市电之前运行一周、两周或更长时间时，这就变得非常重要。即使在备用发电期间，仍需要在建议的时间间隔或接近建议时间间隔时对发电设备进行维护，以保持系统的运行完整性。

燃料成本也可能很高，而且不仅仅是在长期备用任务期间。例如，按1 MW 柴油发动机和1 MW 燃气

发动机一年运行100 小时计算，柴油燃料每加仑2.50 美元，天然气4 美元/MM Btu (英热单位)。如果运行100 小时，燃气发动机的燃料将比柴油燃料成本低约20,000 美元 (图3)。

运行时间越长，评估期内的年数越多，燃气技术的燃料成本优势就越大。此外，还有现场燃料储存的初始和长期成本。柴油燃料通常在交付到现场进行储存时支付。根据燃料量，这可能是一项重大投资。除了初始成本之外，还需要在储存期间维持燃料。这包括需要时的燃料抛光、燃料储存添加剂、燃料罐以及现场维护和控制。另一方面，天然气是在使用时购买的，除了始终推荐的管路内燃油滤清器之外，不需要额外的清洁。

运营支出

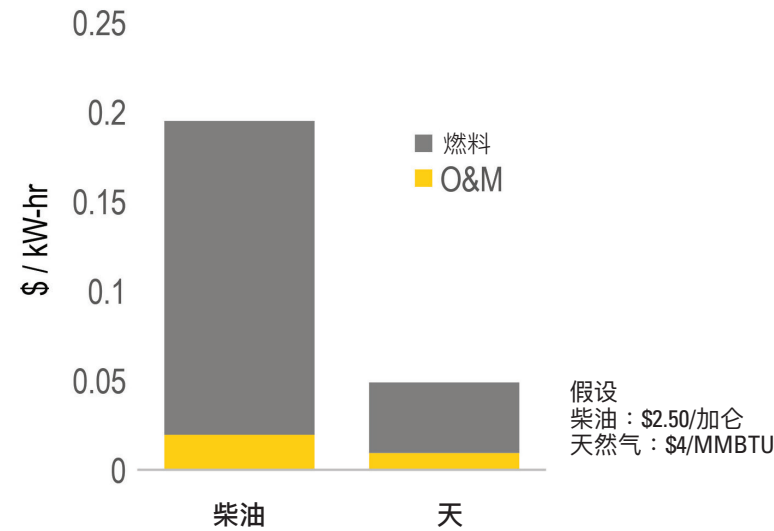


图3：柴油和燃气发动机的每小时运行成本比较

结论

在为特定应用类型选择天然气或柴油备用电源时，与备用市场中具有跟踪记录的发动机制造商的经销商或代表协商会很有帮助。这些专业人员了解各种额定功率和配置的发动机发电机组，并且在柴油和燃气技术方面经验丰富。

他们了解不同商业、工业和机构设施的需求，并能够以最佳的安装、运营和维护成本帮助选择最合适的备用系统。他们还熟悉备用电源的规范要求和当地AHJ的偏好。

Cat 经销商可以管理整个项目的工程、采购和施工，并提供所需的所有发动机、发电机、变压器、开关设备

和其他辅助设备。他们还可以获取制造商的融资计划，以预算和现金流方式帮助完成项目。

备用市场继续向天然气燃料备用发动机技术发展。燃气发动机的开发迅速而成功地满足了市场对低排放发动机的需求，这种发动机能够满足备用服务所需的快速负载。许多设施运营商现在欢迎天然气发电机组作为工具来满足备用电力服务中不断增长的挑战。如需安排咨询、参加网络研讨会或就此主题和其他主题进行现场培训，请访问cat.com/powersystemstraining。

卡特彼勒，全球实干家的强大伙伴

LCXE1395-00 2018 年9月

© 2019 Caterpillar。保留所有权利。CAT、CATERPILLAR、LET'S DO THE WORK 及其相应的徽标、“Caterpillar Yellow”、“Power Edge”和“Cat Modern Hex”商业外观以及本文所使用的企业标识是 Caterpillar 的商标，未经许可，不得使用。

CATERPILLAR®