

# 将数据中心用电从柴油发电转变为 天然气发电

**Marcelo Algrain, 博士**  
高级工程技术代表  
Caterpillar Inc. 电力部

## 前言

数据中心（DC）产业对于能源的需求持续快速增长。过去，数据中心优先选址在便宜、可靠的电源附近。现在，我们很难找到这样的地方，而且寻找对电网依赖程度小的，特别是在电力需求高时的，替代方案的压力与日俱增。

虽然很多数据中心的柴油备用机组有充足的自发电能力，但运行这些机组减轻电网负载经济上既不可行（高燃料成本会导致运行成本高得难以承受），也不被当前的空气委员会规定所允许，这些管制规定对于机组每年使用时间作出了限制。柴油应急机组单纯作为数据中心在公用电网断电时的备用电源来使用。

另一方面，天然气发电对环境的影响小得多，而且相对于柴油发电，燃料成本也大大降低。并且，为了减少电网阻塞时的电力消耗，一些公共电力部门推出了经济调控政策。在这些情况下，数据中心采用天然气发电机组在非应急时期实现热电联产，从经济和环境两方面都是可行的。需要多大的热电联产能力视具体情况而定，但小到仅为支撑非关键负载，直至为整个数据中心设备供电。

毫无疑问，对于一个必须具有极高弹性的行业，从柴油发电转变为天然气发电的主意将是一次技术上的飞跃，而在有些人看来可能过于激进。那么，更好的方式可能是采取一个逐步的演化过程。

数据中心从柴油发电过渡到天然气发电可以通过很多方法来实现。下面将概述几种选择。请注意，即使通常没有吸引力的解决方案，在特殊情况下也可能是正确的解决方案。

## 建造与数据中心配套的调峰电站

第一种选择对数据中心影响最小。当数据中心的电力需求需要被削减时，调峰设备就可以派上用场。由所有者决定设备是否提供额外的电网支持功能。如果设备用于电网支持，它就需要遵守相应国家的电网规范，例如在美国是 IEEE 1547。另一方面，如果调峰设备仅用于支持数据中心、减小对于市政供电的负载需求，多数情况下不需要遵照电网规范，从而简化安装、接入审批流程，降低资金成本。

## 将柴油机组转换为双燃料机组

将柴油机组转换为双燃料机组（柴油和天然气）是一个在技术上颇具吸引力的方案。这将实现发电机组既有着柴油发动机的响应能力，而燃料成本又接近天然气发动机。但不幸的是，在现行法规环境下，这样的机组既要符合常载柴油发动机的法规要求，还需要花大价钱进行大量排气后处理。

## 采用天然气机组为非关键负载供电

第三种选择是采用天然气机组为非关键负载供电，这可在一定程度上抵消数据中心在公共电网上的部分负载。一般来说，非关键负载只占不到整个数据中心负载的四分之一。如果这样足以满足非关键负载，这可能是一个可以接受的方案。另外，如果数据中心可以利用天然气机组产生的部分热量作为一个热电联产方案（CHP, combined heat and power），可以用于进一步提高热效率。

## 用具有更高负载承受能力的天然气机组替代柴油机组

直接用更高负载承受能力的天然气机组替代柴油机组是一个理想的解决方案。人们通常认为，天然气机组的负载承受能力低于同级别的柴油机组，但天然气发动机技术近来的发展已经取得了发动机性能的多项突破，大大提升了承受负载的能力。

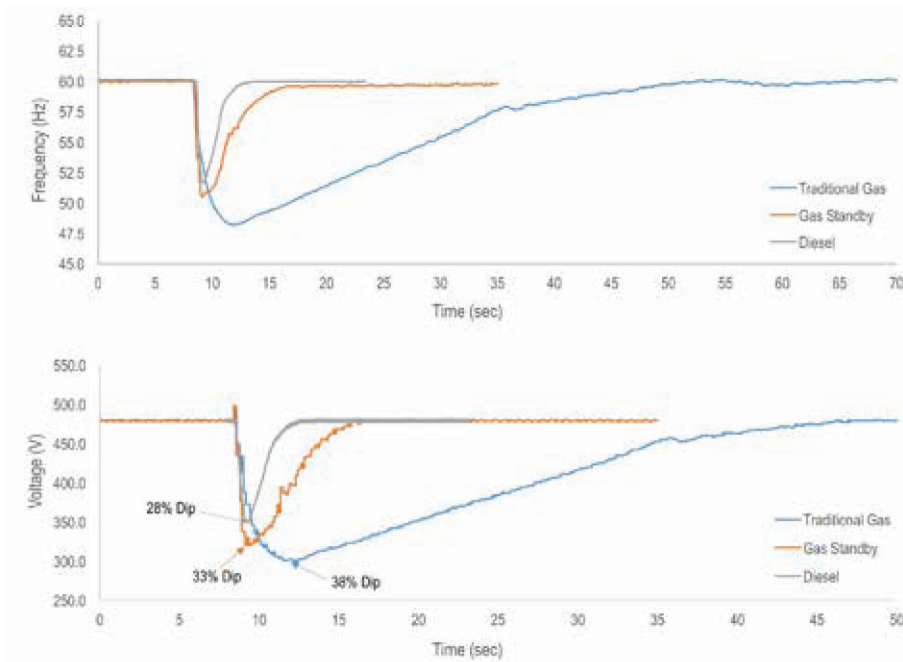


图 1： 负载箱负载中 75% 负载步长变化下瞬时电压和频率

图 1 所示为 75% 负载步长变化下的瞬时电压（左侧）和频率（右侧）。蓝色曲线对应传统天然气发电机组，红色曲线对应新型动态响应天然气发电机组，而绿色曲线对应柴油发电机组。如图 1 所示，新型天然气发动机技术的负载承受能力开始接近柴油机组预期性能的水平 - 已经达到某种程度，可以在某些情况下直接用天然气机组替代柴油机组。此外，优化负载排序、延长 UPS 缓变时间、减少基本负载规模，可以将数据中心负载设定在下一代天然气发电机组的负载承受能力范围内，从而将以天然气为动力的数据中心变为现实。

## 使用天然气和柴油的混合动力发电系统

最后还有一种混合动力方案，将天然气和柴油机组结合在一起，来减小数据中心在电网阻塞时对于市政供电的需求，同时保留应急条件下的柴油发电机组性能。事实上数据中心的稳定状态负荷大体上变化很慢而且对发电机组瞬时响应的要求并不高，因此这是可行的。从一种电源向另一种电源过渡时需要面临的挑战。过去，柴油发电机组已经顺利完成了这些过渡。相反，传统天然气机组还未能匹配柴油机组的瞬时性能。然而，天然气-柴油混合动力系统能够满足瞬时响应要求，并能提供非应急发电，缓解用电高峰期的市政供电的负载。

并联母线配置，搭配天然气和柴油发电机组的组合，是柴油-天然气混合动力数据中心的一种较为简单的呈现方式。基本而言，天然气和柴油发电机组接入并联母线公共负载上。由于天然气机组的负载承受能力一般低于柴油机组，有益的做法是在基本负载模式下运行天然气机组，而在负载跟踪模式下运行柴油机组。柴油机和天然气机比例的选择应根据预期的非应急发电水平，以及在应急状态下通过柴油发电机组维持目标电力质量，提供充足的电路母线稳定性。尽管柴油机和天然气机之间的比例根据情况不同而应有所变化，但合理的起始点应为各 50%。

对于采用模块化设计的数据中心，其中有一台发电机组通过 UPS 为 IT 负载供电，制订混合动力配置需要更大的权衡。一般来说，模块化系统有一定程度的发电冗余，N+1 或 N+2 等。冗余的发电机组就代表有机会进行混合动力改造。图 2 所示为一个模块化数据中心的简单位线图。可能出现两种不同的情况：

1. 天然气发电机组用作冗余机组，柴油发电机组用作主机组。
2. 柴油发电机组用作冗余机组，天然气发电机组用作主机组。

第一种情况下，根据冗余程度，市政供电负载的承担能力为  $1/N$  或  $2/N$ 。这应该是一个以柴油发电机组为主的配置。第二种情况是以天然气为主的配置，可能为数据中心提供全部用电。采用哪个情况更合理取决于所设定的非应急自发电的水平。

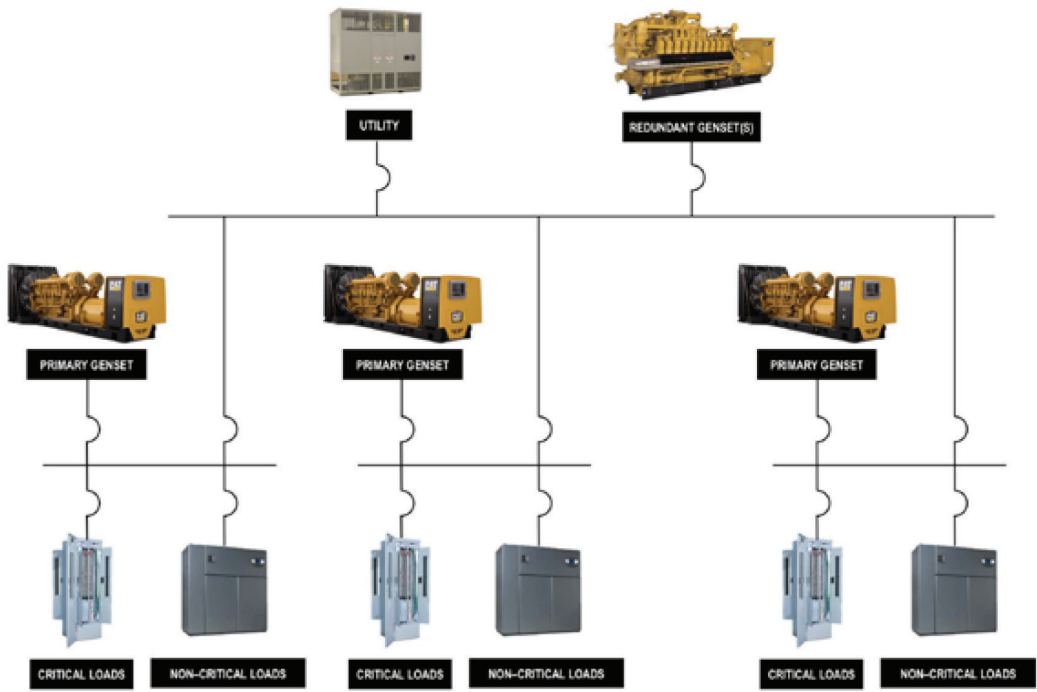


图 2：模块化数据中心配置示例

假设天然气发电机组不能完全匹配柴油机组的负载承受瞬时响应水平，让我们仔细说明一下混合系统是如何满足这些需求的。第一种情况下，作为冗余机组的天然气机组，这些发电机组可以用来减小非应急情况下市政供电负载。天然气发电机组将在基本负载模式下运行。一旦市政供电断电，柴油机组将启动，使 UPS 电源恢复正常，而无论天然气机组是否运转。在其中一台柴油机组未能启动的极少数情况下，天然气机组将可以替代柴油机组，但是 UPS 接入天然气机组的速度需要降低，以适应天然气机组的负载承受能力。或者，如果有超过一台天然气机组用于替代未能起动的柴油机组，例如  $N+2$  系统，最好在两台天然气机组的负载承受能力范围内接入 UPS。

在第二种混合动力配置中，冗余机组是柴油机组而主机组是天然气机组，有充足的非应急发电能力可以满足整个数据中心的电力消耗而不增加市政供电的负载。但保持市政供电接入用于稳定电源、增加额外冗余，仍然是有好处的。启动顺序最好发生在接入市政供电时，这样天然气发电机组可以逐渐增加功率到可以完全承受 IT 负载的水平，并且不会有电流经过相应的市政供电断路器。如果天然气发电机组需要在没有市政供电的情况下启动，冗余柴油发电机组将提供必要的电气母线稳定，以便将 IT 负载转移至天然气机组。之后，需要重复这一过程，直到所有天然气机组启动，并从无电源启动状态开始运转。特别是在最后一台机组接入时，这个过程将延长 UPS 运行时间。但对于具有数分钟放电能力的电池 UPS，将不受此限制，因为将发电机组按照优先级接入会平分 UPS 在所有机组上的运行时间。最后这种方法使数据中心可以在电网阻塞时将市政用电消耗降低至接近于零，从而使数据中心业主能够享受到市政部门提供的经济刺激奖励。

## 总结

总而言之，本文概述了将数据中心用电从柴油发电转变为天然气发电的几种选择。这种转变可以是渐进式的，直至实现完全的转变。用电高峰期所需的减小电网供电程度，以及对于数据中心通过采用联合发电缩减外部供电消耗的经济奖励，都决定了从柴油供电到天然气供电的转变可以进行到什么程度。当前的趋势表明，随着传统电站的停产，电网阻塞持续加剧，而可再生资源以及不同发电资源的渗透在增加。为了应对电力能源市场正不断出现的波动，天然气发电为数据中心设施提供了弹性、环保、经济的良好解决方案。天然气价格处于历史低点，而且供应充足。美国国防部进行的一项研究<sup>1</sup>的结论表明，天然气系统大体上足以应付 2 周至 3 个月的电网停电。在历史上，很少发生天然气输气系统中断的情况，而且严格的输气合约确保了天然气供应可靠率高于 99.999%。简单一句话，天然气是数据中心一种可行的燃料选择。

1来源： 国防部： 发电系统与天然气系统的相互依赖性，以及对能源安全的意义 - 2013

**LET'S DO THE WORK.™**

LEXE1152-00 2016 年 10 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和产品标识是 Caterpillar 的商标，未经许可，不得使用。

**CATERPILLAR®**