

发电机组功率分级 分级的整体观

Marcelo Algrain, Ph.D.
电力部门工程技术主管

引言

许多发电机组制造商按照ISO 8528-1 标准反映其设备分级(备用、主用和持续)。分级根据可用最大功率、负荷系数、每年使用小时数、峰值需求和典型应用进行定义。该广泛定义旨在涵盖广泛的工业和商业用途。基于其可变性,卡特彼勒等某些制造商选择以最保守的形式采用标准定义,以最大限度地降低设备误用的风险。在广泛

的应用范围内,符合此类标准分级仅表示满足发电机组的最低要求,但分级通常并不指示设备的全部能力。某些制造商选择在其分级定义中更加积极,以打造更高能力的形象。本文旨在为读者讲解在为指定的应用类型选择特定分级时需要考虑的因素。

背景

总的来说,大多数发动机配件和部件在开发时符合或超过了连续额定功率下运行时发动机的预期寿命(或大修时间)。过度使用(即长时间以远高于连续额定功率运行)可能导致加速磨损和意外停机。相反,使用过于保守也可能因负载不足而影响发动机寿命,并且可能无法为拥有者提供最佳价值。因此,在发动机的开发中考虑了无数因素。大体上讲,设计限制可以归为以下几类:

- 结构 — 与材料耐久极限相关的元件的工作应力水平有关
- 热效应 — 与高温下材料微观结构变化对材料性能的影响有关
- 磨损 — 与高应力水平和高温下周期性相对运动相关的材料损失的影响有关

在此类广泛的类别中,许多因素在确定发动机的稳定性方面起着关键作用。其中造成限制的主要因素包括:

峰值气缸压力

- 振动增加引起的结构影响以及对于主盖、缸盖/缸体连接和活塞销的影响
- 气缸、缸体、缸盖和活塞等部件的热疲劳
- 气门座、活塞环和主轴承磨损的增加

缸内温度

- 底盖面、活塞弧坑边缘和排气口热量增加导致的热疲劳
- 气门和气门座的加速磨损
- 其他因素,例如过度冷却的活塞

排气温度和压力

- 歧管头垫片接头/涡轮垫片接头和滑动接头上的振动引起的结构影响
- 歧管、气门和导轨、涡轮和歧管双头螺栓的热疲劳和氧化
- 排气歧管的磨损和腐蚀

最大喷射压力

- 摇臂/轴、双头螺栓和喷油器的机械疲劳
- 喷油器中产生的热量

显然,高负载条件和长时间高温会将之前列出的变量推向其上限,并且对结构、热效应和磨损因素具有更高的累积效应。平衡所有这些因素对于开发稳定的发动机而言至关重要。卡特彼勒在发动机设计方面拥有丰富的知识,并将其应用于各款发动机的开发以及精确额定功率的测量,确保设备符合卡特彼勒严格的可靠性和耐用性目标。

之前的讨论主要针对影响发动机额定功率的因素。下一代发电机组的设计则考虑了交流发电机的额定功率。通常,交流发电机在热效应方面受到产生的内部热量和散热能力的限制。因此,部分热量留在交流发电机内,使机组温度升高到环境温度以上。关键变量在于绕组温度上升到高于环境温度。温度升高的原因在于绕组中电流的流动和机器在运行期间出现的内部损耗。因此,在较高负载下运行将导致更高的绕组温度。

对于不同的绝缘材料等级,各种标准1-5 中记录了允许的温度升高限值。某些制造商参考低于标准所述的环境条件,从而形成较低级别的绝缘材料具有较高温度升高能力的印象,而实际情况并非如此。卡特彼勒遵循标准,规定了40°C 环境条件(冷却空气进入机器通风口时的温度)下连续运行时的温度升高能力。对于具备备用分级的交流发电机,NEMA 允许在连续运行时最大温度升高范围内额外增加25°C。

在备用温度升高值下运行将导致交流发电机绝缘材料的热老化速度达到在连续工作温度升高值下老化速度的约四到八倍。但是,备用机组典型使用时间少于每年500 小时,而连续工作的时间则大约为8000 小时,如果遵循应急备用电源的应用指南,并且不作为主电源使用,则在备用温度升高值下运行不会导致绝缘材料的过早老化。因此,为了让客户价值最大化,备用机组相对于连续工作机组而言通常尺寸较小。

在某些情况下,如果预计负载条件处于一般备用和主用分级之间,则可能将备用分级发动机与连续工作的交流发电机搭配使用更加理想。此外,负载类型对于是否需要超大型交流发电机起着关键作用。例如,高次谐波和非线性负载将导致更高的铁芯损耗和额外加热,而且将对交流发电机绕组产生不利影响(可能导致绕组末端破坏性振动,从而造成绝缘材料开裂,并使交流发电机更容易受到湿气故障的影响)。合理的做法是使用超大型

交流发电机减轻谐波负载并最大限度地降低电压失真(使用较低阻抗的交流发电机)。最后但同样重要的是,必须仔细考虑发电机组运行的环境和现场条件(海拔、温度、气流限制等)。如果此类条件超出常规,则可能会妨碍发电机组达到预期的性能。读者可参阅Caterpillar6发布的“应用和安装指南”。

简而言之,Cat® 发动机和交流发电机分级指南基于分

级开发期间所用发电机组设计限制的集合,以确保设备在广泛的应用范围内满足所需的可靠性和耐用性目标。如果使用范围定义较窄,并且条件范围受到更严格的控制,可以开发特定应用的分级,让设备运行更加接近其全部能力,同时将对于热效应、结构或磨损因素的影响以及停机风险降至最低。卡特彼勒提供了一系列发电机组分级,旨在提供从一般到特殊用途的应用,同时最大化拥有者价值。

分级定义

卡特彼勒以ISO 8528-1 标准作为发电机组分级分类的基础。该标准定义了一般分级类别,并为每个类别确定了允许的平均功率输出(负荷系数)。卡特彼勒使用了标准定义并提供更多的分级,以使分级选择与典型应用更加匹配。附录中提供的表格总结了Cat 分级并将其与ISO 分级进行了比较。读者还可以参考出版物LEXE0047,了解Cat 发电机组分级定义7 的全部内容。Cat 发电机组的五个主要分级如下:

- 应急备用(ESP):用于建筑物设施备用应用,每年不超过200小时。
- 备用:用于待机服务应用,每年最多可使用500小时。
- 关键任务备用:用于待机服务应用,每年最多可使用500小时,平均允许负荷系数高于备用分级。
- 主用功率:适用于偏远设施长时间运行、调峰应用、租赁和可变负载下的热电联产。
- 持续:用于在基本负载下长时间以100%的铭牌额定功率运行,或作为偏远站点的公用电源运行。

在多个分级类别下,很自然地会假设一个分级与另一分级的设备本身存在显著差异。总的来说,在现代电子控

制发动机领域,情况并非如此。基本上,电子控制系统中存储的软件可确定发动机以持续、主用或备用单元运行。在某些情况下,设备可能标有双重分级,例如主用和备用分级。这可能令人费解,因为在某些分级中负荷系数限制为70%,而在其他分级中限制为85%,甚至100%,具体取决于所应用的分级。关键在于如何使用设备。例如,一台2.5 MW 备用分级机组与2.25 MW 主用分级机组进行比较。主用分级机组具有10%的过载能力,备用机组不具备过载能力,因此两者都能够提供2.5 MW 的最大输出。现在,将主用分级机组与负载管理指南主用分级机组进行比较。前者可以在70%负荷系数下以每年无限制的小时数运行。如果运行时间限制在每年500小时且存在负载变化,则后者可以以100%的最大负荷系数运行。该运行时间限制与备用机组相同,但在2.25 MW (主用分级) 的基础功率上具有100%的负荷系数,相当于2.5 MW 备用分级90%的负荷系数。因此,如果高于该负载的时间为最低水平,则备用机组可在约90%的负荷系数下运行。关键任务备用分级考虑了所有这些因素,定义了集合其他几个分级的分级,但其旨在用于特定应用。通常,正确分级选择在运行时间、峰值负载和平均负载之间进行了适当的权衡。Cat 代理商可以很好地帮助客户满足其发电机组的分级需求。

表1：ISO 8528 和卡特彼勒分级

ISO 8528 分级		卡特彼勒分级	
分级	定义	分级	定义
应急备用功率 (ESP)	在规定的运行条件下并按照制造商的规定进行周期性维护保养，在市电断电或在实验条件下，发电机组以可变负荷运行且每年运行时间可达 200 小时的最大功率。在 24 小时运行周期内允许的平均功率输出应不超过ESP 额定功率的 70% 。	应急备用功率 (ESP)	典型使用每年 50 小时，可变负荷情况下每年最多 200 小时。平均可变负荷系数为ESP 额定功率的 70% 。不具备超载能力。不适用于受维护的市电并行应用。
不存在相关ISO 标准		备用功率	典型使用每年 200 小时，可变负荷情况下每年最多 500 小时。平均可变负荷系数为备用额定功率的 70% 。不具备超载能力。不适用于受维护的市电并行应用。
		关键任务备用	典型使用每年 200 小时，可变负荷情况下每年最多 500 小时。平均可变负荷系数为备用额定功率的 85% 。典型峰值需求最高为额定功率的 100% ，运行时间为 5% 。不具备超载能力。不适用于受维护的市电并行应用。典型应用为数据中心和医疗服务。
限时运行功率 (LTP)	在商定的运行条件下并按照制造商的规定进行周期性维护保养，发电机组每年运行时间可达 500 小时的最大功率。	负荷管理指南 (主用功率分级)	负荷管理是对发电机组和/或公用设施上的负荷进行有意控制，以实现尽可能低的电力成本。不同负荷情况下每年最多 500 小时。最大负荷系数为 100% 。典型应用是调峰。
主用运行功率 (PRP)	在商定的运行条件下并按照制造商的规定进行周期性维护保养，发电机组以可变负荷持续运行且每年运行时数不受限制的最大功率。 24 小时运行周期内允许的平均功率输出应不超过PRP 额定功率的 70% 。	主用功率	无限小时使用时间。平均可变负荷系数为主用功率额定值的 70% 。具备 10% 超载能力，但在 12 小时内限为 1 次，且每年不超过 25 小时。根据ISO 3046-1 具备 10% 超载能力。发动机大修寿命取决于ISO 8528 中所述的操作，并且在运行期间超过 70% 负荷的时间可能会影响大修寿命。
持续工作功率 (COP)	在商定的运行条件下并按照制造商的规定进行周期性维护保养，发电机组以恒定负荷持续运行且每年运行时数不受限制的最大功率。	持续功率	无限小时使用时间。不变负荷系数为所公布的持续功率额定值的 70%-100% 。典型峰值需求为持续额定功率的 100% ，运行时间为 100% 。

表1：ISO 8528 和卡特彼勒分级

分级选择

Cat 发电机组结合稳定的发动机构成，融入了先进的工程、设计和制造技术，打造出可在世界上最恶劣的条件下运行的产品。如果深入了解负载、负载方案以及机组如何应用，则可针对特定应用优化发电机组分级。然后，可以确定适当的运行和负荷系数，以最大程度提升允许功率输出、耐久性、正常运行时间、燃料经济性和机组使用寿命。在整个Cat 代理商网络中，卡特彼勒提供了广泛的工程、应用和设计知识库，以帮助客户选择最佳的设备。极力建议读者利用此项有价值的服务。以下是关于分级选择和一些常见误解的广泛讨论。

一般分级类别旨在涵盖广泛的工业和商业用途。通常，特定应用不属于常规范围。某些应用提出了一系列独特的挑战；在某些情况下，备用分级的选择可能被视为过度激进，而在其他情况下，主用分级的选择可能被证明过于保守。例如，ISO 8528-1 标准非常具体地说明了如何计算应急备用 (ESP) 机组的负荷系数，将其定义为“在24 小时运行时间内允许平均功率输出不得超过ESP 的70%...”。如果在24 小时内超过70%的负荷系数，发动机会停止吗？当然不会！卡特彼勒对于分级定义的观点更加全面。卡特彼勒并未简单地将单个事件或条件视为选择备用机组而不是主用机组的驱动因素，而是在应用相关的时间范围内考虑设备的整体使用情况。例如，Cat 备用分级定义充分考虑了在特殊情况下的应急/灾难相关的停电期间提供100%的备用额定功率。对于此类超出规定分级限制的操作，可能会对磨损和/或计划外维护产生影响，具体情况取决于严重程度。但是，此类限制需要放入整个使用环境中、指定的应用场合中以及在设备预期使用寿命下去考虑。

摘要

卡特彼勒在发电领域经验丰富，提供在质量、性能、可靠性和耐用性方面无与伦比的卓越产品。卡特彼勒生产多种分级的发电机组，确保满足客户的电力需求，并保护发电设备免受过早磨损，适用于各种应用场合。通过选择正确的分级，能够在运行时间、峰值负载和平均负载之间进行适当的权衡。另外，通过选择正确

的数据中心和医疗服务设施等关键任务应用属于特殊情况，其中必须配备可靠的备用电源。在数据中心，断电可能成为财务灾难；在医院，可能造成人间悲剧。一般而言，关键任务设施位于公用设施可用性较高的城市地区（特别是数据中心）。因此，备用发电机组的运行小时数相对较低。在某些情况下，大量使用与定期运行设备有关，以确保在紧急情况下做好准备。因此，根据预期用途，关键任务分级将负荷系数的备用分级要求从70%放宽至85%。卡特彼勒建议对于关键任务设施使用持续工作分级交流发电机，因为其平均负载潜力更高并且能够在特殊情况下停电期间提供100%备用额定功率。该方法完全符合数据中心的应用要求，在这些地方通常会规定采用低阻抗（超大型）交流发电机。另外，医疗服务设施也将受益于该选择，因为其可以提高医疗成像设备等敏感设备的电力质量。

最后，对于某些数据中心应用，另需注意初次调试测试。在测试中，新发电机组需要在很长的时间内以非常高的输出水平运行，而且时间远远超出了关键任务分级中所述的范围。在遇到此类特殊运行情况时，必须与工厂/经销商进行核查，确保进行适当维护，以免影响设备的长期健康运行。对于任何其他应用类型也是如此。Cat 扩展服务范围 (ESC) 与客户支持协议 (CSA) 相结合，能够以最佳方式确保Cat 设备在其整个使用寿命期间都能以最高性能水平运行。

的分级，客户可以获得安装成本和长期拥有成本的最佳组合。Cat 经销商了解发电机组分级，并且能够作为客户可信赖的顾问。经销商可帮助进行分级选择，并成为支持整个电力系统的安全之源。极力建议读者利用这一宝贵资源为应用类型选择最佳的发电机组。

参考资料

1. IEEE Std 115，同步电机试验程序指南
2. ISO Std 8528-1 (2005)，往复式内燃机驱动交流发电机组
3. NEMA Std MG1，电机和发电机
4. UL 2200，固定式发动机发电机总成
5. IEC 60034，旋转电机国际标准，第11 版，2004 年
6. Cat 电力应用、发动机和发电机尺寸的应用和安装指南
7. 出版物LEXE0047，了解发电机组分级

卡特彼勒，全球实干家的强大伙伴

LCXE0245-02 2014 年1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 and 产品标识是 Caterpillar 的商标，未经许可，不得使用。

CATERPILLAR®