



## 电厂设计与机组循环管理

为应对电网加入风能与太阳能等可变可再生能源和间歇性可再生能源（VRE），燃煤发电厂必须采用新的运营制度平衡新能源的电力波动问题。可变可再生能源和间歇性可再生能源的作用日益重要，已经成为先进经济体，特别是欧盟内部先进经济体能源政策的核心，同时也受到支持新兴经济体能源发展的联合国可持续发展目标（SDG）的影响。联合国可持续发展的第 7 个目标推动了廉价和清洁能源的发展，鼓励发展更多的可变可再生能源和间歇性可再生能源，比如，高效、低排放燃煤电厂采用先进的化石燃料技术，通过灵活性改造提供足够的备用基础负载和可调度电力，这对于支持 VRE 可持续能源的部署至关重要。除电网、需求侧管理等其他选择外，燃煤电厂灵活性改造还能确保电网稳定。

由于不同电厂根据其电网特性、电力市场设计和成本因素不同对灵活性改造的要求也不同，因而没有“放之四海而皆准”的燃煤电厂灵活性改造方案。有些电厂对获得较低的最小负载要求较高，而有些则要求快速启动和快速增加负载的能力。电厂循环是指电厂电力输出变化的一系列操作，包括启动和关闭以及负载跟踪。

电厂灵活性改造会增加各部件的热疲劳应力和机械疲劳应力，这些应力与其他效应协同发生会降低部件寿命，对燃煤电厂的所有区域具有显著影响；此外，电厂灵活性改造还会导致厂用电耗更高、CO<sub>2</sub> 排放更多，单位热耗率降低等不良影响。电网对可变可再生能源和间歇性可再生能源依赖较高时，化石燃料电厂的运行成本平均会增加 2-5%。

电厂灵活性改造有多种实现方式，比如改进新技术、修改现有的或采用新的操作程序、人员培训。通常，由于设备和控制系统在全负载和部分负载运营时的表现不同，电厂灵活性改造一般会从设备和控制系统的升级切入。升级完成后，会提高设备及控制系统的精度、可靠性和速度，设备和控制系统的升级是电厂灵活性改善最具成本效益的方法，也是采取其他措施的前提。但是，使用寿命有限的老旧电厂可能无法升级新系统，这种情况可以通过电厂管理策略，比如维护策略以及新的或新修订的操作实践来实现。

电厂灵活性改造的要求之一是对电厂在较低最小负载下运营能力的要求，这可以使停机次数达到最低，从而减少对设备部件寿命的影响并降低运营成本。从德国一些电厂的运营实践来看，通过各种措施有可能实现 10% 的最小负载。虽然有多种方式可以实现较低的最小负载，但是电厂灵活性改造的关键是要确保稳定燃烧，这可以通过以下措施实现，包括采取优化煤粉细度和空气/燃料流量；间接燃烧；改变磨机的尺寸和数量；以及可靠的火焰监测等。

启动程序一般需要在燃烧器点火期间加入辅助燃料，因此启动程序复杂，成本较高。而缩短启动时间和提高快速增加负载的能力能确保对市场条件变化快速反应。为此，可采取以下措施：可靠点火、集成燃气涡轮机、减小集管等厚壁锅炉部件的直径、集成更多集管、清洁锅炉和涡轮机的沉积物、升级密封装置、涡轮机旁管和内部冷却等。其中有很多措施都可以提升增加负载的能力。此外，还

有一些其他措施，比如扩大磨机存储容量、采用冷凝液节流、增加涡轮阀等。

由于烟气的温度会随着循环模式而变化，电厂灵活性改造对排放控制也可能存在一定影响。因此，必须将烟气，特别是 NO<sub>x</sub>，保持在所需水平。这可以通过几种方式实现，比如，在进行选择性催化还原（SCR）之前使用烟气附加加热器；在进行选择性非催化还原（SNCR）时，采用多点喷射，根据需要使用或关闭喷射器，以确保实现所需性能；为避免浆液凝固及汽套积聚启动燃油残余物，进行烟气脱硫（FGD）时需要尽量减少停堆和启动次数，避免长时间的预热。电厂灵活性改造后烟气温度不低于 90° C，可以很好地进行颗粒物（PM）控制。

空载故障有一大部分原因是断开负载时引起的可避免损坏。由于启动/关闭频繁，待机时会破坏水/蒸汽回路内的物理和化学条件，导致待机期间发生腐蚀或其他损坏，所以循环机组的风险也更高。因而，有必要对所有的水/蒸汽回路提供适当的保护，保护措施可基于电厂的个体特性，采取多种方式实现。

新电厂的设计师在设计时可将灵活性要求纳入设计考虑。比如，集管等厚壁高压部件采用新型高级材料，或基于已经表现出来的较短的基本负载操作寿命进行设计，减少快速循环期间的寿命消耗。但是，这可能需要新电厂的设计师平衡对电厂灵活性和效率两个方面的成本投入。

本报告所述技术能使燃煤电厂将其动态容量扩展作为可变可再生能源和间歇性可再生能源的灵活备用储备，最大化采用上述可再生能源后的环境效益，将电厂效率降低和循环成本增加的负面影响降到最低。

国际能源署洁净煤中心由国际能源署（IEA）创办，但其在功能和法律上是独立的。国际能源署洁净煤中心的意见、调查结果和出版物不代表国际能源署秘书处或其成员国的意见或政策。

所有执行摘要均基于详细的研究报告完成，可通过访问 [www.iea-coal.org](http://www.iea-coal.org) 获得。报告摘要：电厂的机组循环设计与管理，作者 Malgorzata Wiatros-Motyka, CCC/295, ISBN 978-92-9029-618-8, 94 pp, 2019 年 8 月。

英国伦敦上里士满路 176 号艾普斯利大厦国际能源署洁净煤中心，邮编 SW15 2SH

WWW.IEA-COAL.ORG | +44 [0]20 3905 3870 | [MAIL@IEA-COAL.ORG](mailto:MAIL@IEA-COAL.ORG)