

吹灰优化器

大力提升效率的吹灰优化系统

吹灰操作过于频繁会损坏锅炉部件，并给电厂效率带来很大负担，但是操作频率不足也会导致同样严重的问题，而吹灰优化系统将会找到这个“黄金点”。

文 | Neel Parikh, Peter Rogge 和 Kenneth Luebbert

当前全球燃煤电厂正在承受着越来越严格的要求，运营方也一直在寻找最佳解决方案，力求提升自身效率，保持过程最优化，同时密切观注着利润状况。其中一大部分的原因在于这些电厂需要遵守比以往更加严厉的排放量监管。

以美国为例，环保署正在制订和实施各种新标准，要求电力行业在 2030 年之前将碳排放量削减 30%，因此电力行业想以尽可能最高效的方式遵守这一要求。幸运的是，对于那些想要不经历成本高昂的改造就达成最优化的燃煤电厂来说，仍有许多经济合理的替代技术可供考虑。

在燃煤电厂当中，想要优化任何流程难度都很大。堪萨斯城市电力灯公司（KCP&L）旗下的 Hawthorn 发电厂的运行方，最近接受了一项优化吹灰流程的挑战。Hawthorn 5 号机组位于密苏里州 Jackson 县，处于密苏里河南岸，它拥有一台 594 MW 墙式燃烧水冷锅炉，以 100% 粉河盆地次烟煤为燃料（图 1）。

超越特殊的吹灰操作

当今燃煤电厂正越来越多地预期自己需在负荷不停变动的情况下展开运行，

同时还要处理好运行方面的各种波动，诸如燃料质量变化以及空气质量控制要求。对于绝大多数燃煤电厂来说，它们仍然采用传统吹灰技术来扫除烟灰沉积。但是，这些传统模式却给电厂的优化运行带来了难题。如果吹灰不足，烟气至蒸汽的热量传导就会受到阻碍，导致锅炉效率降低。大量沉积的烟灰还会限制烟气的抽出，从而要求增加风机功率，更降低了效率。另一方面，过于频繁的吹灰清扫会导致受热面被侵蚀，由此发生机组停运、蒸汽和金属温度过高，以及喷水流量增加的问题，降低绝大多数机组的效率。

典型吹灰设备利用蒸汽、水或空气喷射流来清除受热面管道上的烟灰沉积。吹灰操作会加大发电成本，其中既涉及到清扫介质相关费用，也包括驱动压缩机和泵机所需要的寄生功率。

吹灰器的活动周期通常以运行方的经验以及锅炉制造商的建议为基准。这种方式通常会形成过分简化的解决方案，即按照固定间隔期或由运行方自行判断执行连续吹灰操作。按固定间隔吹灰能够清洁锅炉，避免生成难于清扫的烟灰积聚现象，但是这也意味着吹灰操作会在并不是真正有必要的期间发生，这种

操作会导致，在负荷变动期间以及其他动态运行条件下出现意外的过程参数波动。而依靠运行方自行判断执行吹灰会导致吹灰作业模式的不一致，从而要求运行方在 24 h 基础上进行干预，而这种干预会加大操作者的负担，并通常导致次优化的吹灰作业。

优化挑战

2000 年，作为一次 1999 年事故后重建工作的组成部分，Hawthorn 5 号机组的吹灰系统得到了重新建造，工程师也遇到了如上所述的传统问题。在多年运行经验的基础上，工程师已经花费了大量时间制订吹灰作业序列，以适应不断变化的运行条件，系统能够发挥其功能但肯定未达到最优化。

而 Hawthorn 当时使用的基于序列的吹灰控制系统遇到了如下数项具体运行难题：省煤器出口烟气温度（EEGT）受到了选择性催化还原（SCR）催化剂温度限制条件的局限。过于清洁的再热器会导致过高的再热温度，而表面过脏的再热段也会导致阻塞以及过大的风机功率，两者之间需要进行精妙的平衡。屏式过热器最易结渣，而屏式吹灰器是操作最频繁的吹灰器。结渣率非

常严重地受到煤种和炉膛燃烧参数的影响。序列控制无法对这些变化作出响应,导致在低结渣条件下出现过度吹灰,在高结渣条件下出现吹灰不足现象。尽管 Hawthorn 机组作为基础负荷机组设计,并预定按近乎全负荷稳定运行,2012 年运行小时数超过 3000 h,功率在 350 ~ 550 MW 之间。在这些负荷较低的情况下,吹灰操作需要显著少于满负荷,这种基于序列的控制方式按满负荷编程时,导致在这期间出现吹灰过多的现象。2007 年 Sierra Club 与 KCP&L 同意开展一系列的活动,抵销这家公用事业公司的 CO₂ 排放量以及其他排放量,要求增加风能用量并采取一些大规模保护能源的措施。KCP&L 聘请了一位工程设计咨询专家,对适合全公司发电设施采用的最优秀技术开展了一项研究,旨在通过电厂效率并达成减排 CO₂ 的目标。这批项目的第一层集中于改进性能监测和手工优化。第二层集中于采用闭环控制产品来提升优化度,诸如燃烧和吹灰优化器。在完成第一层项目后,KCP&L 对涉及旗下全部设施的燃烧和吹灰优化建议进行了审查。

找到最佳解决方案

通常来说,运行方都想拥有吹灰优化器,以使用最少量的吹灰介质来清扫锅炉,并且不会损坏管道,避免对特定段执行远高于其他部分的清洁作业。他们想要减少吹灰操作的总次数,同时保持其他关键过程参数。

吹灰操作也是这个优化过程的一个环节。其重点在于要制订一个综合全面的计划,包含优化诸如燃烧等其他过程的能力。采用整体化的解决方式确保了所有子部分共同协作,最大程度提升每个子部分的影响力。

对于 KCP&L 来说,想要尽量减少的关键过程参数是:再热和过热蒸汽温度变化和偏移、再热和过热调温喷水流量、烟气出口温度、负荷降等、辅助用电量、意外停机。

图 1 堪萨斯市电力电灯公司 (KCP&L) Hawthorn 发电厂最近对其吹灰过程实施了一次综合改造



为了改善 Hawthorn 5 号机组的这些参数,改进这些过程,达到锅炉的最优化,实现减排 CO₂ 的目标,KCP&L 选择了西门子的 SPPA-P3000 型吹灰优化解决方案。

团队选定 SPPA-P3000 的一项重要差别化因素就是其自适应技术。KCP&L 想要拥有一个灵活的平台,既能够支持燃烧和吹灰优化,又允许在未来做出改进。就吹灰操作而言,每个具体吹灰器的启动都有着重要的作用。让位于某一给定部分的一组吹灰器都执行吹灰会打乱锅炉的运行,而项目团队也知道,绝大多数电厂在满负荷运行时对干扰的允许运行裕量极少。

SPPA-P3000 提供了定制化解决方案,能够依据电厂动态运行条件、设备可用度和电厂运行驱动因素来确定对吹灰作业的需求。系统会在最优时刻以闭环控制方式生成各个吹灰器的启动信

号,增强现有吹灰器控制系统的能力,在吹灰优化时无需配备新的设备和传感器。SPPA-P3000 可与现有控制系统接口,取得可用的一系列工厂参数,并配合这些参数展开运行。针对各个机组的具体定制化解决方案,最终可以由用户进行查看和修改,确保方案的灵活性、可靠性和可扩展性,从而带来持续性的效益。

SPPA-P3000 能够与非西门子的分散控制系统协同工作。这项技术让这家电厂得以保留自己当前的控制系统,同时享受吹灰优化器的好处(图 2)。

吹灰优化发挥效用

新系统安装到位后,KCP&L 和西门子的工程师就能够通过对每台吹灰器的吹灰运作进行精细调整来解决这家电厂的具体问题。但是,为了取得成功的结果,工程师发现必须采取

平衡式的方法。优化器在配置上主要基于 EEGT 来做出吹灰决定。获得上一次吹灰作业的测量结果后，优化器就能自动选择最适合的吹灰器以提升 EEGT。正因如此，有些区域的吹灰操作会更频繁一些。

为了防止温度和喷水流量的偏移，还有一些敏感区域需要额外控制。特别是再热段已经通过配置防止了任何连续性或近乎连续性的吹灰作业。

在这次精调过程结束前，仅从现象来看，这次吹灰优化就将成为一个成功项目。下一步是将电厂运行员工从连续吹灰操作当中解放出来。尽管遇到了一些阻碍，但在证明了优化器能够减少与吹灰相关的问题后，运行人员在总体上欢迎优化器的使用。可以在任何时刻启用和禁用优化器，但头一年优化器的使用率超过了 95%。

在优化系统启用并运行时，电厂运行人员在系统帮助下可以进一步找出吹灰优化的机会。在市场疲软状况下，Hawthorn 机组会在夜晚以最小负荷运行，白天以低负荷运行。一般来看，在低负荷下所需吹灰操作的次数非常少，所花费的时间也不多，所以 Hawthorn 以前的惯例是暂停自动吹灰，只在需要时执行手动吹灰，而优化器最初也按照这种操作规程进行了设置。但运行人员发现了让优化器处理这种低负荷吹灰操作的机会，而且优化器很轻松地更新了相关逻辑设置，实现了低负荷下最少的吹灰次数。

经过试运行，系统还实施了另一项与过程稳定性相关的配置变更。在运行之中总会有一些特定场合，其中多台吹灰器以近乎同步的方式执行吹灰。这种现象已知会导致短时间的炉膛抽风压力偏移和蒸汽压力降低。炉膛抽风压力偏移会导致风量出现临时性的减少，这种减少会影响到燃烧过程，而蒸汽压力降低会导致发电功率设定点控制问题。经过与西门子讨论，优化器配置为在任意连续吹灰器启动

之间加入一个短延时。

有若干项积极的运行成果在 Hawthorn 5 号机组得到了实现：EEGT/SCR 入口烟气温度平均降低了 10°F (1°F = -17.2℃) 左右。这点提升了锅炉效率并消除了绝大多数由于担心催化剂温度而执行的负荷降低现象。过热和再热蒸汽温度保持在接近想要设定值的水平，并大幅度减少了较大程度的偏移，提高了稳定性。过热调温喷水流量约降低 2 万 lb/h (1 lb/h =

$1.25998 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$)，平均达到 4 万 lb/h，并且再热调温喷水流量平均降低 15 lb/h，达到了明显的效率增益。总体来说，锅炉各受热面的计算清洁度与原来相等或更优。整体上减少了 5% ~ 10% 的吹灰作业，减少了介质使用量和辅助电力消耗量，电厂热耗率约提升 1%。

采用吹灰优化技术的回报在典型情况下只需数月就可测量出来，并且有很大可能会看到即时的积极成果。KCP&L 在 Hawthorn 5 号机组实施吹灰优化提升了锅炉效率，并减少了与吹灰相关的负荷受限。在保持锅炉清洁度的同时减少了作业次数，所以降低了对炉管的损坏和浪费在不必要吹灰作业上的能源。在采用此项技术之前，再热喷水阀经常会运行在全开状态下，导致循环效率降低，使得再热器管湿度上升，有可能导致锅炉受热面的长期损坏。

当从性能和生命周期成本的观点



图 2 P3000 吹灰优化系统可以与现有分散控制系统并行安装

看待这台优化器的未来状况时，目前为止 KCP&L 对结果感到高兴，因为 KCP&L 的性能工程师做到了以更少的吹灰作业时间获得了更好的成果。自这台优化器于 2012 年试运行以来，其使用率一直超过了电厂运行小时数的 95%。

Hawthorn 电厂经理 Dominic Scardino 表示：“当我们谈到优化时，我们会观察其应用所有燃煤电厂时的真正未来价值。我们此刻并没有计划兴建更多的燃煤电厂，所以重点放在最大程度提升现有机组的价值上。我们正在积极地在旗下电厂尝试实现卓越运行，以发挥出这些关键资产的价值。这点对于我们的电费支付者和我们的社区都有好处。”

在 KCP&L 的 Hawthorn 5 号机组实施了成功的试点之后，相关团队正在公司的另一家电厂加装优化器，其中涉及到了位于 LaCygne 的两台机组。MM