

Shepherd™牧羊犬工业互联网之污水处理厂应用

之精确曝气系统在英国盎格鲁水务米尔顿污水处理厂节能应用案例分析

概要和时间表

- 2013 年 10 月，牧羊犬监测和管理系统被批准安装在米尔顿市政污水处理厂。
- 2014 年，根据牧羊犬系统的测算，该厂过度曝气超过 50%。
- 2015 年 11 月，第三方服务机构 AT 公司对该厂过度曝气进行了独立调查。
- 2016 年，AT 公司建议采纳牧羊犬系统的计算数据，进行精确曝气改造，达到节能的目的。
- 改造之后，2016 年 12 月开始计算，曝气能耗已经降至改造前的 44.7%。电费由 163,000 英镑减少到 73,000 英镑（节省 55.3% 能耗）。

概 述

过度曝气是污水生物处理中的普遍问题，因为难以精确计量生物需氧量，所以很难将曝气量控制在一个合理的范围内。因此，曝气鼓风机始终过度运行，其运行成本通常要高于实际需求。

如果有一种设备可以实时监控污水处理系统中的曝气需氧量，又无需每日每周进行繁琐而复杂的维护与校准，那么势必对改善污水处理系统的过度曝气是非常有利的。鉴于此想法，牧羊犬测控系统应运而生，并被使用在米尔顿污水处理厂的曝气系统改造中，用于监测整个系统的过度曝气量。

经过一段时间的检测后，该厂的能耗从 370.0kWh/ML 降低到 161.4kWh/ML，降低了 50% 以上。这一结果表明牧羊犬测控系统在降低能源成本（和减少碳排放）方面具有重要价值，因为它可以精准的检测生物处理池中实时的需氧量。

一、案例介绍和分析

米尔顿污水处理厂的处理能力相当于 180,000 人口的排水量。在整个处理厂中，并联设置了 3 个处理单元，分别用 A 单元、B 单元和 C 单元来表示，每个单元的处理能力为处理总量的 1/3，牧羊犬系统被设置在 C 单元。在测试时，在该站点有 3 个处理单元，名为 A、B 和 C，每个单元处理 33% 的污水。牧羊犬系统部署在 C 单元。

在历时 3 年的时间里，牧羊犬系统实时在线监控 C 单元的曝气量，并通过对微生物呼吸量这个参数的监测和转换为操作人员提供满足系统需求的最佳曝气量。之前，该厂操作人员也认为 C 单元过度曝气，但不清楚具体过度曝气的量为多少。牧羊犬系统投运之后，建议的曝气需求远低于现场鼓风机提供的实际曝气量，过量曝气程度计算为约 50%，那么 C 单元显然具有降低能耗的潜力。

在这项研究中，通过对 C 单元初始和调整后的曝气量的分析，验证了牧羊犬系统可以为污水处理厂实现精确曝气提供依据，并为污水处理厂降低运行中的潜在能耗成本提供非常有效的依据。

二、关于 C 单元（牧羊犬系统投运前）

C 有四个曝气区。四个曝气区均配置了微孔曝气器，每个曝气区的长度、宽度和深度分别为 61.5 m x 7.0 m x 4.0 m，分成四个长度为 13.5 m 的区域。曝气区起点的缺氧段长 7.5m。好氧段为 6048 m³，缺氧段为 840 m³。

每个单元的微孔曝气器布局列于下表中：

曝气单元	微孔曝气器数量
1	429
2	216
3	112
4	112
总计	869

曝气器在第一个曝气区分配为 50%，在第二个区域分配为 25%，和 3 区和 4 区为 12.5%。

C 单元安装了 3 台曝气鼓风机。其设计参数如下表所示：

额定入口率	4500m ³ /hr	电机类型	三项感应
排气压力	480 mbarg	电机电压	415V/3ph/50Hz
设计入口压力	1013 mbarA	运行电流	145A
设计入口温度	15 °C	功率	90Kw
设计入口湿度	60% RH	额定效率	94.1% 满负荷时
风机叶轮转速	21038 rpm	额定转速	2970 rpm
电机制造商	Brook Crompton Parkinson		

3 台鼓风机的运行方式为两用一备，根据需要的曝气量将氧气打到活性污泥中，直至达到溶氧仪设定的限定值。

三、牧羊犬系统监测曝气量

牧羊犬系统是針對活性污泥的在线监控系统，是一种基于微生物呼吸法的新型检测系统。成套探测装置漂浮在曝气池中，并以小时为单位对活性污泥进行采样，根据逻辑原理推荐工艺所需要的曝气量。整套系统包括传感探测腔、压力传感器、记录仪以及逻辑计算程序（专利）。传感探测腔是一个容积为 2 升的密闭装置，配套浮力环漂浮在活性污泥曝气池中。

牧羊犬直接从活性污泥池中采样，分析过后循环回至曝气池中。传感探测腔特有高效的空气循环系统和通风系统，促进了微生物呼吸产生的气体交换，致使传感探测腔顶部空间的压力发生变化。通过对密闭容器空间压力变化的监测，逻辑程序计算出接近实时的 BOD 值，帮助管理和优

化工艺流程。

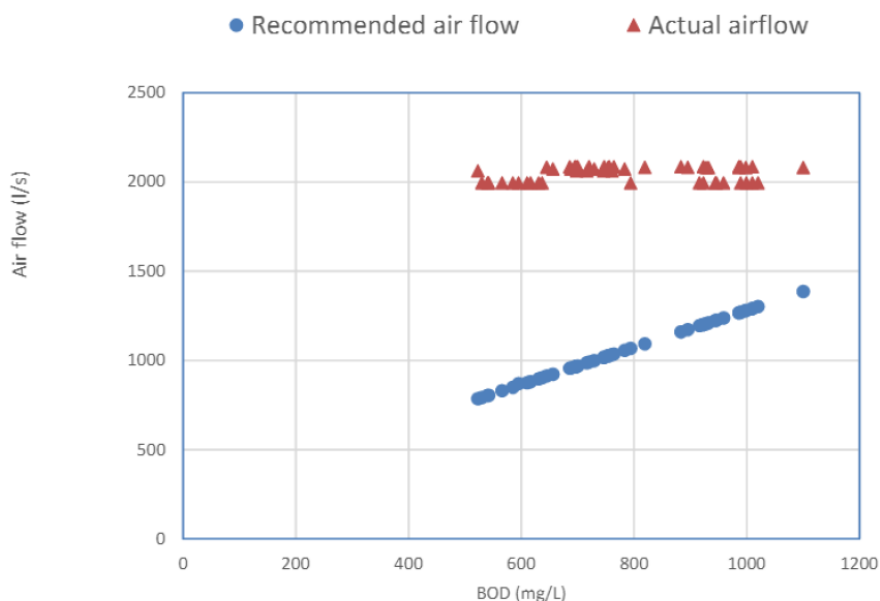
自 2013 年以来，牧羊犬系统一直在米尔顿污水处理厂的 C 单元中某曝气池中使用，根据牧羊犬系统计算的 BOD 值，推荐合理的曝气量。我们对现场曝气的四个月跟踪，对实际过度曝气和牧羊犬系统推荐的曝气进行了比较和分析。

在下图中，牧羊犬系统推荐的曝气量（红色）和实际曝气量（蓝色）如图：



从图表展示的情况来看，我们可以清楚的看到牧羊犬系统的推荐曝气量始终远低于工厂的实际曝气量。

下图中，牧羊犬系统推荐的曝气量（蓝色）与活性污泥 BOD 值（近似实际）对应关系如下：实际曝气量对应关系以红色表示。



牧羊犬系统建议的曝气量与 BOD 值成比例。如图所示，当 BOD 较低时，牧羊犬系统建议较低的曝气量，当 BOD 较高时，牧羊犬系统建议较高的曝气量。相比之下，工厂实际操作中，无论 BOD 值如何变化，实际的曝气量几乎保持不变。

值得注意的是，实际曝气量在污水处理满足排放标准方面没有任何问题，但是浪费了大量能源。

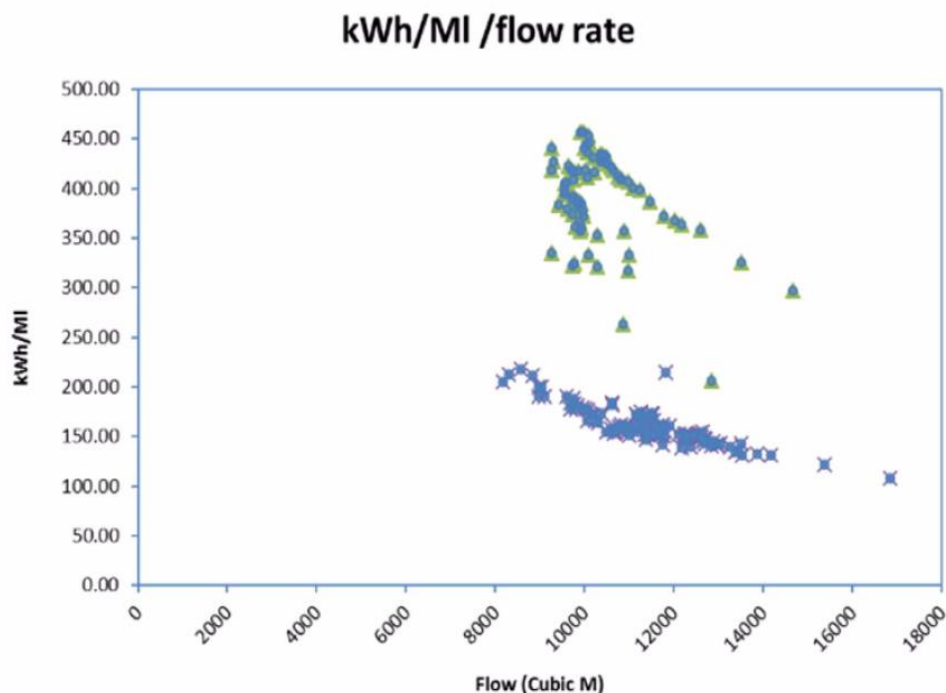
基于这种比较和分析，该曝气池显然已经过度曝气。根据该厂能源团队提供的数据，该曝气池的平均鼓风机效率为 370 kWh/ML。而牧羊犬系统建议的鼓风机效率为 185 kWh/ML 就足够了。

四、精确曝气改造

通过 AT 公司对 C 单元过度曝气状况进行的技术调查（AT 公司是米尔顿污水处理厂的可靠的承包商，提供独立的第三方调查数据），结果表明即使在较高的荷载下，曝气池前端三分之二的曝气都是充分的。曝气池末端氨含量小于 0.05mg/L。这份技术调查报告披露的结果与牧羊犬的数据分析结论一直，即过度曝气量约为 50%。

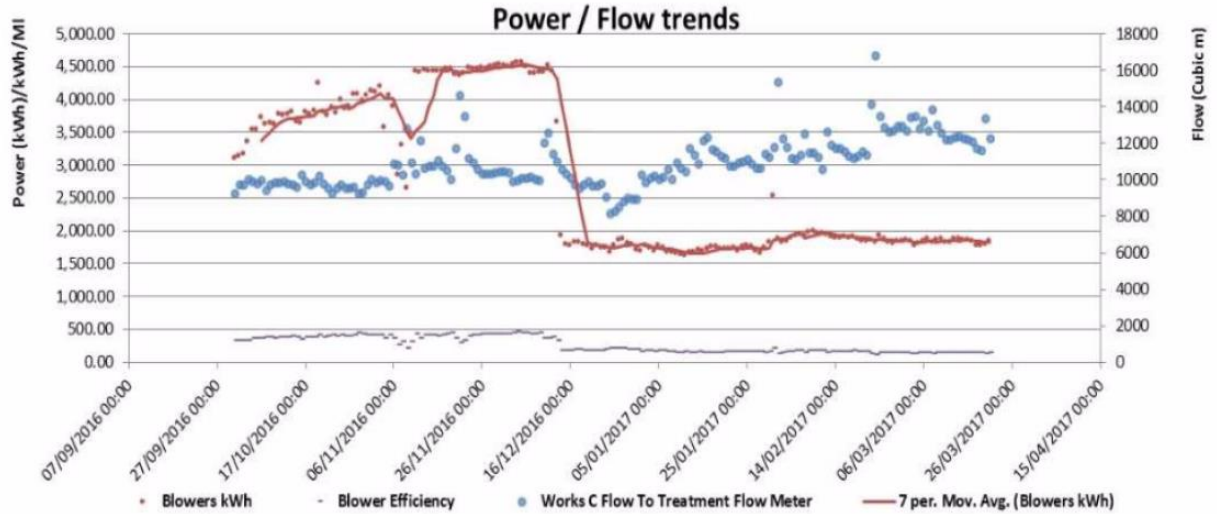
精确曝气改造之后，鼓风机的效率为 161.4 kWh/ML，之前为 370kWh/ML，减少了 57.0% 的能耗。

在改造之前（三角形）和之后（星形），C 单元的日常鼓风机效率如下图所示：



该图表明，在相同的风速下，效率曲线在 2016 年 12 月前后明显不同；改造之后，能耗低了，但是效率高了。

能耗和风量随时间变化的趋势如下图所示， 红色趋势线是每日耗电量：



五、结论

- 过度曝气是米尔顿污水处理厂运行成本过高的的主要问题。
- 牧羊犬系统在该厂测算出约 50% 的过度曝气量，根据牧羊犬监测的数据对曝气鼓风机进行控制，可实现的能源节省及运行费用的降低是相当可观的。
- AT 公司展开的独立分析也证实牧羊犬系统在推荐曝气需求方面是正确的，认为牧羊犬是准确的监测系统。
- 牧羊犬系统能够为实现能源管理的目标计算出准确及时的实时曝气需求，比处理厂原有的溶氧仪监测更准确、维护更简单。
- 预计能够降低能源成本约 20%-30%。
- 牧羊犬系统只需在首次安装时进行标定，即免去了日常繁琐的维护工作，避免了因为维护和校准不及时而造成的数据误差。
- 牧羊犬系统既可用于新建的污水处理厂，也可用于现有污水处理厂的改造。