

总有机碳 TOC 监测使制糖厂结束度量缺漏，将营收损失降至最低

项目总结

应用领域 - 泄漏检测

监测技术 - 总有机碳 (TOC) 分析

比较因素 - 检测水中有机污染物的准确性和灵敏度

监测结果 - 与现今常用的水质参数相比，TOC 分析显示出超强的监测准确性和灵敏度

关键词 - 食品饮料行业、制糖业、有机物监测、泄漏检测、电导率、pH 值、氧化还原电势、Sievers* InnovOx TOC、冷凝水、运营成本、产品损失

背景

制糖是耗水量极高的生产工艺，其中几乎每个生产环节都需要用水。例如，在碾磨甘蔗时，必须将水喷洒在甘蔗上，以尽量提取甘蔗汁液。制糖厂用蒸汽轮机来碾磨甘蔗，每碾磨两吨甘蔗，就会消耗一吨水蒸汽。糖浆的进一步提纯和结晶也要靠蒸汽驱动机器来完成。不难理解，制糖厂（尤其是缺水地区的制糖厂）都会想方设法节约用水和再利用水。

再利用水的一种可行办法是，收集和冷凝锅炉与其它工艺设备排出的热蒸汽。制糖厂在重新利用冷凝水之前，通常会利用冷凝水的高温来加热分离的流体（例如提取的甘蔗汁或糖浆），以便进行精加工。充分利用热能能够节省成本。制糖厂通过换热器，在加热流体的同时防止两种流体混合。冷却后的冷凝水经过处理，可以用作工艺补给水甚至锅炉给水。如此一来，制糖厂既充分利用了热能，又节省了用水。

挑战

在实际生产中，换热器的性能并非绝对可靠，尤其是长期和反复使用的换热器。由于金属疲劳和腐蚀，换热器中分隔两种流体的金属表面会出现针孔，导致流体双向泄漏，给制糖厂造成损失。

对于制糖厂来说，这种泄漏会带来很多问题。首先，如果甘蔗汁或糖浆在通过换热器时漏到冷凝水中，会造成产品损失。这种损失乍看微不足道，但随着时间推移，损失会累积起来，最终显著降低企业营收。请看下面的例子：

- 一个普通制糖厂每年生产30万至40万公吨原糖
- 由于机械因素造成的产品损失为0.1%，相当于损失了300至400吨产品
- 假设产品的平均售价为每吨400美元，这就意味着制糖厂每年要损失12万至16万美元的收入

其次，流体泄漏会污染冷凝水。一旦发生污染，制糖厂就不得不花费额外的时间和费用来处理被污染的冷凝水，然后才能重新利用处理后的冷凝水。但这样做的前提是在经济上划算，否则制糖厂只能被迫将被污染的冷凝水作为废水排放掉，不但无法节约用水，还必须在排放前对被污染的冷凝水进行成本更高的废水处理。

如果要避免不必要的产品损失和防止设备严重损坏，尽早发现泄漏就变得至关重要。然而，从本文随后提供的数据中可以看到，现今常用的监测冷凝水质量的方法完全无法及时检测到水中的有机杂质。如果制糖厂继续使用不合格的冷凝水，风险会非常严重。例如，

如果不合格的冷凝水被用作锅炉给水，水中的杂质会在高温下氧化成有机酸，导致锅炉内的 pH 值降到危险地步，制糖厂就不得不被迫进行计划外的锅炉排污。即使问题没到这么严重的程度，但随着时间推移，有机污染物会持续腐蚀锅炉，积聚沉淀物，从而缩短锅炉的使用寿命。为了将锅炉恢复到可使用的状态，制糖厂不得不对受损的锅炉进行昂贵、耗时的维修，甚至被迫停产。

解决方案

换热器的泄漏会将有机污染物（例如提取的甘蔗汁、糖浆、锅炉燃油等）送进冷凝水，因此必须采用能够快速检测这些有机污染物的分析方法。使用常规的水质参数（例如 pH 值和电导率）很难检测到有机物的存在，因为大多数（如果不是全部）有机污染物在水中不会电离，使被污染的水的 pH 值呈中性。而总有机碳（TOC）分析法能够准确测量水中所有共价键碳化合物的浓度，及时提供冷凝水中有机污染物浓度的直接参数。TOC 分析是一种快速、定量的测量方法，能够帮助制糖厂做出实时的、基于测量数据的工艺决策，以有效管理冷凝水的再利用和排放。

为了证明 TOC 分析对有机污染物的监测灵敏度，我们进行了以下实验室研究。我们先将潜在的污染物加到制糖厂的冷凝水样品中，这些污染物是中间糖产品，它们会通过换热器从热冷凝水中吸收热量。本研究选择的中间糖产品是“供汁（Supply juice）”和“EFFET A 液”，它们的加标浓度范围是 50 至约 500 ppm（mg/L）。

然后用 Sievers InnovOx 实验室 TOC 分析仪（见图 1）测量加热至 $40^{\circ}\text{C} \pm 2$ 以模拟制糖厂典型生产条件的加标冷凝水。此款分析仪采用独特的超临界水氧化技术（SCWO, Super Critical Water Oxidation），对有机碳浓度的检测范围是 50 ppb（ $\mu\text{g/L}$ ）至 50,000 ppm（mg/L）。除了测量加标冷凝水样品的 TOC 浓度之外，我们还测量了电导率、氧化还原电势（ORP, Oxidation Reduction Potential）、pH 值。



图 1：用来测量加标冷凝水样品的 Sievers* InnovOx 实验室 TOC 分析仪

我们随后分析了这两种污染物加标浓度的各种参数（TOC、电导率、氧化还原电势、pH 值），如图 2-5 所示。通过相关关系的线性和斜率，可以深入了解这些水质参数的对污染物浓度的响应性和敏感性。

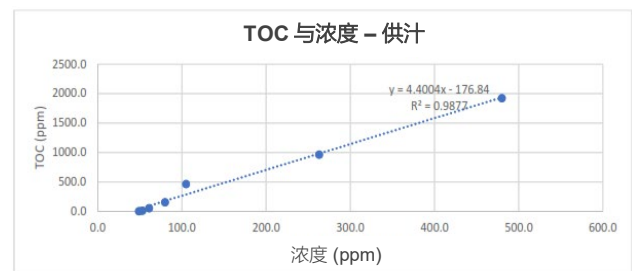


图 2a：不同加标浓度的供汁的实测 TOC

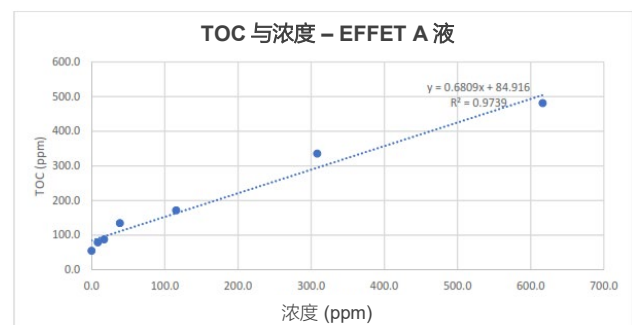


图 2b：不同加标浓度的 EFFET A 液的实测 TOC

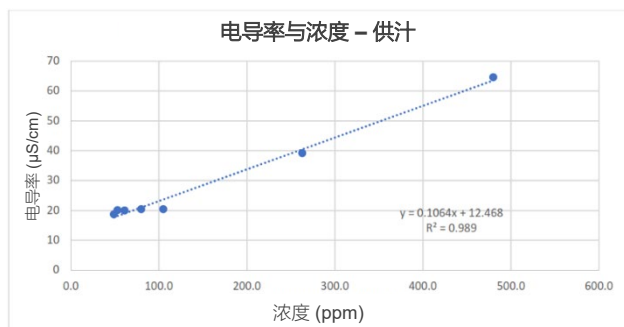


图 3a: 不同加标浓度的供汁的实测电导率

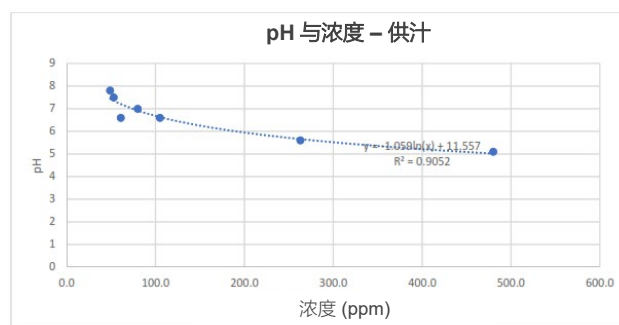


图 5a: 不同加标浓度的供汁的实测 pH 值

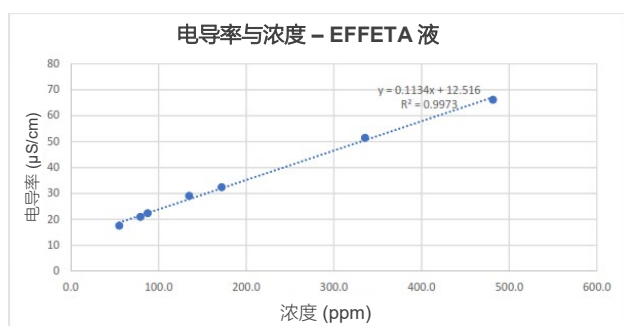


图 3b: 不同加标浓度的 EFFET A 液的实测电导率

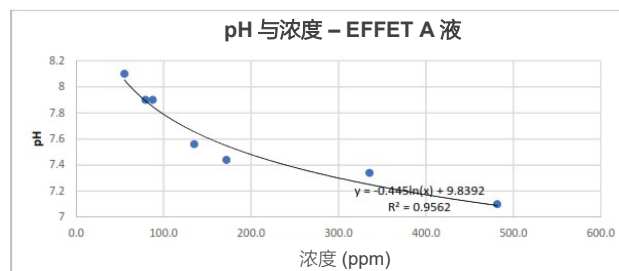


图 5b: 不同加标浓度的 EFFET A 液的实测 pH 值

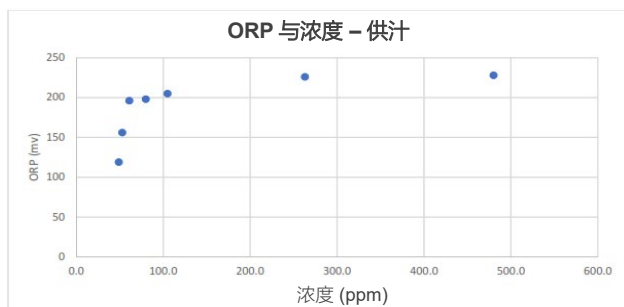


图 4a: 不同加标浓度的供汁的实测氧化还原电势

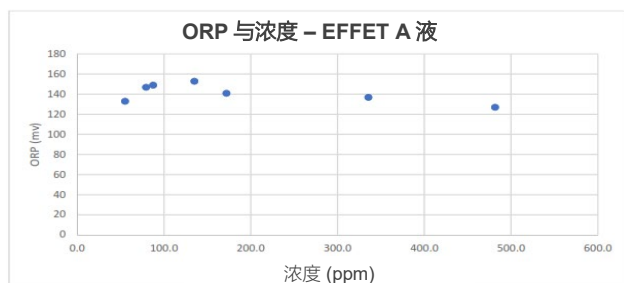


图 4b: 不同加标浓度的 EFFET A 液的实测氧化还原电势

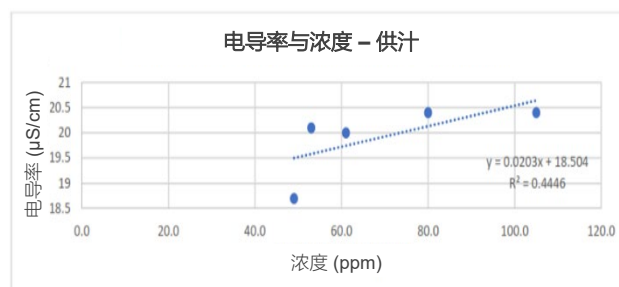


图 6: 当供汁的加标浓度较低时, 电导率相关性的线性较差

与 TOC 和电导率相反, 我们无法建立氧化还原电势的线性相关性。对于加入供汁的冷凝水, 氧化还原电势测量值在加标浓度低于 100 ppm 时呈较差的线性, 超

过此浓度后氧化还原电势趋于水平。在测量 EFFET A 液时，随着污染物浓度的增加，氧化还原电势的趋势变得不连贯，表明两者没有因果关系。

我们同样无法看到冷凝水的 pH 值与污染物的加标浓度之间的线性相关性。pH 值的实测结果只能被绘成对数函数，这表明用 pH 值来检测冷凝水中的有机污染物的灵敏性和实用性皆都不足。

结论

监测冷凝水的水质，尤其是监测通过换热器的冷凝水的水质，对于制糖厂防止产品和营收损失来说至关重要。同样，为了保护制糖厂的关键设备免受被污染的冷凝水的损害，确认重复利用的冷凝水的清洁度也非常重要。

目前常用的水质测量参数包括电导率、氧化还原电势、pH 值，这些参数在检测离子污染物时表现出色，但在

检测有机污染物时，尤其是检测浓度较低的有机污染物时，就有很大的局限性。仅仅依靠上述水质参数来监测冷凝水的水质，会降低工艺透明度，导致企业决策错误，最终增加生产成本或损坏生产设备。

TOC 分析提供了一种快速、准确、灵敏的有机污染物检测方法，是确保冷凝水质量的有效工具。制糖厂在关键工艺步骤中采用在线 TOC 监测，能够加强泄漏检测能力，而泄漏是导致代价高昂的设备损坏和营收损失的一大根源。

参考文献

1. Quantification of Sugar Content Loss in various Byproducts of the Sugar Industry, International Journal of Advance Industrial Engineering, Vol. 3, No. 2 (June 2015)

Veolia Water Technologies
请访问以下网址与我们联系：
cn.sieversinstruments.com

关注 **Sievers 分析仪** 官方微信
了解更多
热线电话：400 887 8280



WATER TECHNOLOGIES