

蛋白质样品清洁验证中 TOC 分析仪的比较

——燃烧-NDIR 方法与 UV/过硫酸盐-膜电导方法的比较

总有机碳 TOC 一般理论

所有 TOC 分析仪都具备两种功能：将水中有机碳氧化成二氧化碳 CO_2 ，并测量所产生的 CO_2 。TOC 可用于对未正确清洁的设备中的杂质和残留物进行定量，以及检测所有含碳化合物：药物活性成分（Active Pharmaceutical Ingredients, API）、清洁剂、蛋白质和中间产物。用来测量 TOC 的分析技术有着相同的目标：把有机分子完全氧化成 CO_2 ，检测所生成的 CO_2 ，并以碳浓度表示。所有方法都必须区分无机碳和有机碳，无机碳可能来自水中溶解的 CO_2 和重碳酸盐，而有机碳则是由样品中有机分子氧化而成的。总碳（TC）是有机碳与无机碳之和，因此测得的总碳（TC）减去测得的无机碳（IC）的值就是 TOC： $\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$ 。¹

各种 TOC 测定仪的不同之处在于氧化样品水中有机物的方法，以及检测样品中所生成 CO_2 浓度的方法。不同的检测方法对样品分析的准确度有很大影响，进而影响清洁验证检测程序。

TOC 氧化技术

市面上所有 TOC 测定仪都使用以下两种方法之一来氧化有机化合物并将之转换为 CO_2 气体：燃烧法，或紫外（UV）+过硫酸盐法。

燃烧技术使用氮气、氧气或空气流，温度在 600°C 以上。燃烧方法在氧化步骤中也使用催化剂。该类方法中常用的催化剂有氧化铜、氧化钴或铂。

UV 过硫酸盐氧化方法利用 UV 光使有机物完全氧化为 CO_2 。将样品暴露在设备内汞蒸汽灯的 UV 光之下，

将样品内的有机物转化为 CO_2 气体。对于浓度大于 1 ppm 的样品或化合物，则在样品流中加入过硫酸盐并混合均匀，从而利用接受照射的样品生成的负价氢氧（ HO^- ）基来确保氧化过程顺利进行。过硫酸盐是一种强氧化剂，在 UV 辐射下生成硫酸盐和氢氧基，可将有机化合物完全氧化为 CO_2 。

TOC 检测方法

为检测 CO_2 浓度，分析仪器需要使用检测方法以区分样品中的 CO_2 和其他分子。现有两种检测方法：非色散红外（Non-Dispersive Infrared, NDIR）或电导检测。

用于气体测量的 NDIR 技术依靠各种气体在红外光谱范围内的能量吸收特征来判别分子类型。运用 NDIR 技术的 TOC 测定仪使红外线穿过两根完全相同的导管射入检测器。第一个导管作为参比池，充满无红外吸收的气体，如氮气。第二个导管（池）用于气体样品的测量。

电导检测方法使用电导传感器，通过计算电导率确定 CO_2 的浓度。为计算 TOC，水溶液通过两个电导传感器，其中一个检测总碳（TC）浓度而另一个检测无机碳（IC）浓度。根据检测结果，计算出样品的 TOC 浓度。

NDIR 方法可对含碳范围在 0.004 – 50,000 ppm 的样品进行定量，而电导率法可以进行十亿分之一（part per billion, ppb）级的定量。总体而言，NDIR 和电导率检测器对于低浓度的 TOC 有足够的灵敏度，但会受到离子干扰。使用只允许 CO_2 选择性透过的半透膜可减轻此因素的影响。

Sievers* TOC 技术与与众不同的特点

结合使用 UV 过硫酸盐氧化与独特的选择性 CO₂ 膜技术，是 Sievers 系列 TOC 分析仪优于常规 TOC 技术（如燃烧 NDIR 技术）的众多要素之一。Sievers 技术能持续为用户提供更为精确的 TOC 读数。

在 Sievers 基于选择性膜的电导方法中，CO₂ 传送模块中的选择性 CO₂ 膜可阻止离子进入，在使 CO₂ 无阻通过的同时，排除了干扰化合物和氧化副产物。选择性 CO₂ 膜消除了背景干扰，并防止非碳基化合物和副产物聚集。

清洁验证是一项充满挑战的工作，因为各种样品的 TOC 浓度有时是未知的，因此很难达到最佳分析条件。以下几个优点确保了 UV 过硫酸盐+膜电导技术在清洁验证应用中无可比拟的分析结果。

试剂自适应功能保证完全氧化

为使清洁验证样品完全氧化，Sievers M 系列 TOC 分析仪具有试剂自适应功能，可优化酸和过硫酸盐氧化剂的流量。

非催化燃烧方法

非催化燃烧方法消除了向燃烧反应器中添加催化剂的定量（根据样品中碳浓度而定）时的人为误差。燃烧氧化方法会产生毒性气体。若清洁验证样品中含氯化物，燃烧可能生成对人体有潜在危害的气体，某些 TOC 分析仪不吸收这类气体。

无需 NDIR 检测器

NDIR 检测器需要一定的时间来预热（30 到 45 分钟），因此造成更多的停工时间和样品积压。NDIR 技术需要经常进行校正（每小时或每天），具体时间由清洁验证样品的碳浓度决定。这类检测器经常出现校正漂移现象。校正时间占 NDIR 仪器运行时间的 6% 到 10%。

不用载气

NDIR 检测器的载气价格不菲，并且泄漏和不稳定的校正经常会引起高 TOC 背景。载气污染也可能造成检测困难和引起碳的高背景。

出色的灵敏度和高回收率

Sievers TOC 分析仪的电导池由高纯度石英制成，提供更佳的稳定性和 0.03 ppb 级别的检测。图 1 和表 1 从灵敏度和 TOC 回收率两个方面，就牛血清蛋白（Bovine Serum Albumin, BSA）对 Sievers TOC 技术与传统燃烧-NDIR TOC 技术进行比较。

图 1. Bovine Serum Albumin (BSA) TOC 回收百分比对比研究

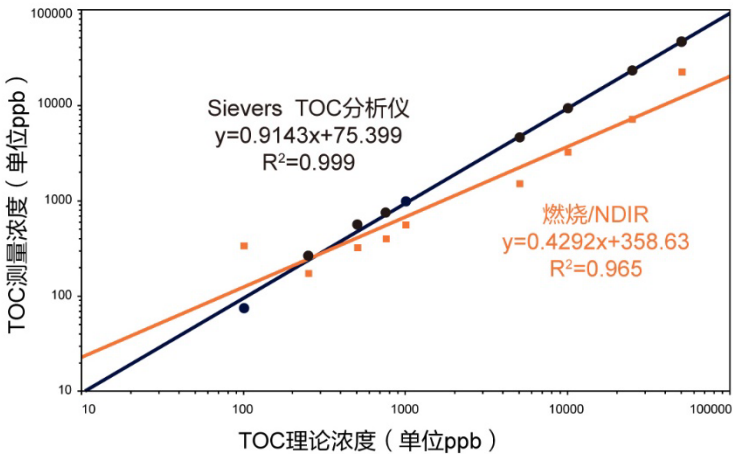


表 1. Bovine Serum Albumin (BSA) TOC 回收百分比对比研究**

**该对比研究使用完全校准后的仪器。分析之前，先进行并通过系统适用性测试。对两种仪器，制备并使用同一 BSA 储备溶液。研究在可控的环境中进行；分析期间，仪器未出现偏差。

TOC 理论浓度 (ppb)	Sievers TOC 分析仪结果: TOC 回收百分比平均值	燃烧/NDIR 结果: NPOC 回收百分比平均值
100 ppb	74.7 ppb=75%	339.7 ppb=340%
250 ppb	264.7 ppb=105%	173.0 ppb=70%
500 ppb	564.3 ppb=113%	323.8 ppb=64%
750 ppb	751.2 ppb=100%	402.1 ppb=54%
1000 ppb	968.7 ppb=97%	556.3 ppb=56%
5000 ppb	4646.7 ppb=93%	1508 ppb=30%
10000 ppb	9390.0 ppb=94%	3285 ppb=33%
25000 ppb	23266.7 ppb=93%	7183 ppb=29%
50000 ppb	46000 ppb=92%	23025 ppb=46%

为什么说现在正是改用 Sievers TOC 分析仪进行清洁验证的时候？

HPLC 分析很漫长，增加了实验室清洁验证分析所需时间。使用 HPLC 将导致数小时或数天的停工，造成高额成本并减少提供给患者的产品数量。有例子表明，某些制药企业单日停工损失超过 100 万美元。表 2 将 Sievers TOC 分析仪与燃烧/催化-NDIR 和燃烧-NDIR TOC 分析仪进行了详细比较，其中包括估算的月运行成本。

TOC 是一种用于低浓度级别有机化合物检测的、简单快速的分析方法，并且可用于检测无法使用 HPLC

检测的污染物。与常规方法相比，TOC 已被证明可减少 75%以上的停工时间和方法验证时间。FDA 出台的指导方针——21 世纪现行药物生产质量管理规范（cGMP's for the 21st Century），旨在加强和更新药物制造规则，使用 TOC 分析进行清洁验证，与专属性分析方法相比（如 HPLC）在质量和效率上的优势已引发越来越多的关注。²

参考文献

1. USP <643> Total Organic Carbon.
2. Andrew W.Walsh 为本应用摘要提供了内容。

表 2. TOC 方法比较

用于清洁验证的TOC分析仪	Sievers TOC 分析仪	燃烧/催化剂 NDIR	燃烧 NDIR
氧化方法	UV过硫酸盐	燃烧(680-1,000°C)催化剂氧化	680°C燃烧氧化
检测方法	膜电导	NDIR	NDIR
检测范围	0.03 ppb-50 ppm	TC: 0-25,000 ppm IC: 0-30,000 ppm	4 ppb-25,000 ppm(TOC) 4 ppb-4,000 ppm(TC-IC)
检出限	0.03 ppb	4 ppb	4 ppb
准确度	±2%	CV±1.5%	--
精密度	1%RSD	--	--
测量项目	TOC,TC,IC	TC,IC,TOC,NPOC	TOC(NPOC),TC-IC,TC,IC
样品量	0.5微升/分	10-2,000微升	小于2毫升
分析时间	4分钟	TC: 3分钟及以上 IC: 3分钟及以上	9-12分钟
校正周期	一年	小时/日/周	小时/日/周
校正执行时间	单点: 1.5小时 多点: 5.5小时	3小时	5小时
每年校正耗时	单点: 1.5小时 多点: 5.5小时	150小时	250小时
载气	不适用	高纯空气 1,440 L/mo. (假设8H/D x 5D/W)	高纯空气 (> 99.98%)或 干燥高纯氮气
试剂	酸 氧化剂	盐酸 IC试剂	盐酸
在线测量	是	否	否
离线测量	是	是	是
可携带	是	否	否
消耗品	酸 氧化剂 UV灯 DI树脂床 泵管路	催化剂(铂) 载气 酸 IC试剂 等	载气 酸 等
每月运行成本	\$ 175	\$ 530	\$ 540

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