

NSF 国际标准 - 臭氧发生器

1 概述

1.1 目的

制定本标准的目的是提供一种评价臭氧发生器工作性能（如臭氧浓度和产量）的方法，并规定臭氧发生器材料、设计和制造的最低要求。本标准特别叙述了对产品说明书和标牌信息的最低要求，制造商必须将这些信息提供给用户和业主。

1.2 范围

本标准的目标是提供一种方法用以判定水处理应用中臭氧发生器的工作性能。本标准涵盖所有产量不大于 500g/h 的臭氧发生器型号。本标准不涵盖投加设备的内容。

本标准不适用于评价臭氧发生器对水的处理效果；本标准亦不适用于评价臭氧发生系统的结构完整性。

1.3 替代材料、设计及制造

虽然本标准可能规定了特定的材料、设计及制造，但是包含可替代材料、设计及制造的系统仍然可能被认为符合标准，只要证明这些系统能满足合适的需求。

2 规范引用

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。以下注明出版日期的均适用于本标准。所有文件以修订版为准，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。

ASTM D4000, 特定塑料材料的标准分类体系

美国国家环保署 (EPA) 对臭氧的规定: 2001 年 10 月《臭氧新闻》, 29 卷 5 期, 27 页

3 定义

3.1 浓度

发生器出气中臭氧的含量。浓度可表示为重量百分比， g/m^3 ，体积百分比，重量 ppm，体积 ppm 及 mg/L。附表 A 给出了在一个标准大气压、20°C (68°F) 时的转换系数。对于本标准，浓度将以重量百分比单位和 g/m^3 表示。

3.2 冷却剂流量

冷却剂流量是用来除去臭氧发生器放电室的热量。

注意 - 热量交换的关键因素是冷却剂的质量流量 (kg/h)。冷却剂的质量流量等于冷却剂的体积流量 ($m^3/h, ft^3/h$) 乘以冷却剂的密度 ($kg/m^3, lb/ft^3$)。

对于冷却剂的密度与温度压力无关的液体冷却系统，可以用体积流量来表征冷却剂液体流量 ($m^3/h, ft^3/h, gpm, Lpm$)。

对于气体冷却系统，密度与冷却气体的温度和压力有关系，因此需采用质量流量。本标准中，温度和压力的范围很窄，冷却剂的体积流量 ($m^3/h, ft^3/h, lpm, ft^3/min, CFM$) 被采用来近似表示质量流量。

3.3 露点

气体达到饱和蒸汽压的温度（假设气体压力和含湿量恒定）。对于电晕放电臭氧发生器，露点的最低要求为-60℃（-76°F）。

3.4 进气

进入臭氧发生器进气端的气体（环境空气，干燥空气或氧气）。进气的质量指标及流量由制造商规定。

3.5 进气流量

通过臭氧发生器放电室的进气流量。

注意 - 反应的关键因素是进气的质量流量（kg/h）。质量流量等于体积流量乘以进气的密度。

气体的密度与温度和压力有关。由于影响密度的因素在连续不断变化，因此无法判断进气的实际质量流量。在本标准中，因为温度和压力的范围很窄，所以将体积流量近似表示质量流量。

对于压力系统，制造商应该规定臭氧发生器进气的体积流量和压力（表压）。

3.6 发生单元压力

进气在反应室中的表压。

3.7 臭氧发生器

一种利用电力和含氧气体产生含臭氧气体的装置。上述臭氧发生器包含控制器、变压器和变频装置，可将标准供电转换得到臭氧发生单元所要求具备的电力属性。

3.8 成套臭氧系统

包括气源系统的臭氧发生器，通常是一个整体设备。

3.9 产量

单位时间内臭氧发生器产生的臭氧质量(g/h, lb/h)。产量等于臭氧浓度(g/m³, lb/ft³)乘以进气流量(m³/h, lpm, ft³/h, CFM)。

3.10 相对湿度

空气中实际水蒸气含量与本温度下饱和水蒸气含量的比值（百分比）。对于给定的水蒸气含量，相对湿度随温度变化。

3.11 短循环或间歇系统

被设计为操作时间每次不超过 5min 的系统。

4 材料

直接与臭氧接触的材料必须抵御制造商指定臭氧浓度范围内臭氧的氧化。

4.1 适用材料

表 4.1.1 和 4.1.2 提供了一些抗臭氧的上场可购材料的例子。这些材料被推荐

在干燥和 40°C 的中等温度下使用。其他替代材料也可用于臭氧发生器，如果能被证明材料适用的话。材料供应商需要提供适用性的文件。

注意-对于使用替代材料，供应商至少应该确认最终用途的适用性。其他材料也可用于制造臭氧发生器，只需证明其合适的材料兼容性。可接受的说明文件应包括材料生产商兼容性图表或者书面保证书。

4.1.1 部件及管道

注意-部件、管道、垫片和密封的缩写与标准 ASTM D4000 一致。

	臭氧浓度 <1.5%wt.	臭氧浓度 1.5~10%wt.
玻璃	×	×
陶瓷	×	×
PVC	×	NR
CPVC	×	NR
UPVC (不增塑)	×	NR
铝	×	×
		(最高 4%wt.)
304 不锈钢	×	×
316L 不锈钢	×	×
镍	×	×
哈氏合金	×	×
钛	×	×
特氟龙或与之相当的 PFA 材料	×	×
氟化乙烯丙烯 (FEP) 如特氟龙或与之相当的材料	×	×
聚四氟乙烯 (PTFE) 如特氟龙或与之相当的材料	×	×
乙烯-四氟乙烯共聚物 (ETFE) 如 Tefzel 或与之相当的材料	×	×
乙烯-氯三氟乙烯共聚物 (ECTFE) 如 Halar 或与之相当的材料	×	×
氯丁 (二烯) 橡胶或与之相当的材料	×	NR
聚偏二氟乙烯 (PVDF) 如 Kynar 或与之相当的材料	×	×
聚三氟氯乙烯 (P-CTFE) 如 Kel-F2800、Neoflon 或与之相当的材料	×	×

4.1.2 密封及垫片

	臭氧浓度 <1.5%wt.	臭氧浓度 1.5~10%wt.
聚三氟氯乙烯 (P-CTFE) 如 Kel-F3700n 或与之相当的材料	×	×
全氟橡胶如 Kalrez 或与之相当的材料	×	×
氟化共聚物如 Chem-Rez 或与之相当的材料	×	×
Gortex 或与之相当的材料	×	×
PTFE	×	×
氯磺化聚乙烯如 Hypalon 或与之相当的材料	×	NR
偏二氟乙烯氟化物如 Viton 或与之相当的材料	×	×
		(最高 4%wt.)

聚乙烯硅氧烷 (Silicone)	×	× (最高 4%wt.)
三元乙丙橡胶 (含双环戊二烯) EPDM	×	NR

%wt. = 重量百分比

NR = not recommended (不推荐使用)

5 设计和制造

5.1 风险

零部件必须避免边缘和表面粗糙、锋利及其他风险，以消除调试、维修或使用臭氧发生器时对人员的伤害。

5.2 电气安全及操作

臭氧发生器的电气控制及元件应该符合国家电气法规或与之同等效力法规的规定。

5.3 结构整体性

臭氧发生系统必须在结构上是完整的。在正常操作时不应发生可检测的空气、臭氧或冷却剂泄露。

6 臭氧浓度、产量和测试标准、条件

6.1 性能声明

臭氧发生器性能所包含的产量和臭氧浓度测定必须在 6.3.1 中所指定的温度和制造商指定的压力下进行。

6.2 分析仪器/测试准备

6.2.1 测试设备

所有与进气和臭氧气体直接接触的材料都必须能够抵御湿气渗透及臭氧氧化。

6.2.2 分析仪器

所有分析仪器必须使用可接受的校准程序校准，例如国际臭氧协会出版的关于高浓度臭氧分析的校准方法。

需要使用一台紫外吸收臭氧浓度分析仪，分析仪应符合 1996 年《臭氧科学及工程》杂志 18 卷第 3 期 209-229 页所描述的要求。

6.2.3 进气流量计

测试用的流量计测定流量时的精度应该在 5% 以内。测量的气体流量需要修正至标准压力和温度（一个标准大气压和 20°C）。

气体流量修正系数：

$$Q_2 = Q_1 \times (P_2 / P_1)^{1/2} \times T_2 / T_1$$

其中：

Q_1 = 流量计读数（温度和压力校准于 1 个标准大气压和 20°C）

Q_2 = 经过温度压力修正的实际进气流量

P_1 = 标准大气压

P_2 = 实际气体压力 (绝对压力)

T_1 = 标准温度, 293K

T_2 = 实际气体温度 (K 式温度)

例如: 测定进气条件为压力 10psig, 温度 25℃, 流量为 10scfh, 那么实际气体流量应为 10cfh $\times (24.7/14.7)^{1/2} \times (298/293) = 13.18\text{scfh}$

译者注:

原文错误, T_2/T_1 关系倒置, 亦未指明流量计类型。

如转子流量计, 公式为 $Q_2 = Q_1 \times (P_2/P_1)^{1/2} \times (T_1/T_2)^{1/2}$ 。

6.2.4 冷却剂流量计

对于液体冷却的臭氧发生器, 在测试过程中应测定冷却剂流量。在测定流量时, 流量计的测定精度应该在 $\pm 5\%$ 以内。

对于空气冷却的臭氧发生器, 冷却剂的流量以系统风扇制造商提供的体积流量为准。

6.3 主要测试条件及方法

6.3.1 温度条件

环境空气温度	22 \pm 2℃ (72 \pm 5°F)
冷却水温度	22 \pm 2℃ (72 \pm 5°F)
冷却气体温度	22 \pm 2℃ (72 \pm 5°F)

6.3.2 气体处理设备

臭氧发生器的进气必须经过气体处理设备的预处理。进气的露点和氧气浓度必须经过测量, 并记录在报告中。气体处理设备的进气是实验室的环境空气。

6.3.2.1 电晕放电臭氧发生器

氧气进气浓度应该为 93 \pm 2%wt, 露点最高为 -80℃ (-112°F); 空气露点为 -62℃ (-80°F) 或更低。

注意-环境氧气浓度随着海拔的升高而降低。使用空气作为气源的臭氧发生器的性能随着氧气浓度的降低而降低。制造商应该提供本标准测试条件之外情况时的性能相关信息。

6.3.2.2 紫外臭氧发生器

紫外臭氧发生器应该在实验室环境空气条件下进行测试。所有测试条件 (包括环境温度、相对湿度和环境氧气浓度) 都应记录在案。

注意-紫外臭氧发生器的产量会因为实际操作条件与测试条件的不相同而发生变化。臭氧产量会因为较高温度、较高相对湿度及较低的氧气浓度而减少。

6.4 臭氧产量测试

6.4.1 目的

本测试的目的是检验臭氧发生器的臭氧浓度和臭氧产量。

6.4.2 设备

依照图 A1 连接测试设备。设备的所有部件应符合第 4 章的要求。

6.4.3 臭氧产量测定程序

6.4.3.1 臭氧发生器的安装及条件设置应依据制造商的说明书,并符合 6.3 节的规定。在进行测试之前,臭氧发生器应该按照进气的设计流量冲刷至少 2h,或者按照制造商的说明,或者直至露点和氧气浓度达到要求。发生单元的压力范围应被测量并记录在案。

- 1) 臭氧发生单元的操作压力范围应由制造商指定。发生单元的压力范围应被测量记录在案。
- 2) 气源类型和质量应与制造商说明书保持一致。
- 3) 应测试 2-10 个流量下的产量。进气流量应依据制造商的操作指南进行设置。进气流量应以体积流量计量。
注意-如果臭氧发生器的气体流量是不可调整的,则臭氧发生器在其设定流量下测试即可。
- 4) 对于采用液体冷却剂的臭氧发生器,应由制造商指定冷却剂种类。冷却剂流量应根据制造商操作指南设定。冷却剂流量应被记录。
空气冷却的臭氧发生器不必测量冷却剂流量,但应核实风扇的操作参数。
- 5) 根据制造商操作指南设定臭氧发生器的供电(电压、频率及最大电流)。
- 6) 在测试正式开始前,臭氧发生器的操作时间应由制造商指定或设为 2h,选取二者较大者。产气中臭氧浓度应由 1 分钟间隔的臭氧浓度分析仪监测,且浓度仪应满足 6.2.2 节的需求。当连续的 3 个测量值的百分均差在 3%以内时,认为达到平衡。如果 10 分钟内(11 个测量数值)仍未达到平衡,则终止试验。
- 7) 臭氧浓度以臭氧在产气中的重量百分比为单位。
- 8) 臭氧产量应被记录在案。
- 9) 在不同流速下重复步骤 1 至步骤 9。应监测 2 至 10 个流量产量数据。各流量时达到平衡的时间应记录。

$$\text{每次测量的百分均差} = \left| \frac{a_i - b}{b} \times 100 \right| = E_i$$

其中:

i = 测量数 (3);

a_i = 单个测量数值, a_1 、 a_2 和 a_3 。

b = 三个测量值的平均值 = $(a_1 + a_2 + a_3) / 3$, 且 $\%E_{ave} = (E_1 + E_2 + E_3) / 3$, $\%E_{ave} \leq 3\%$ 时合格, $\%E_{ave} > 3\%$ 时不合格。

注意-臭氧产量需重复计算。

6.4.3.2 第 6.4.3.1 节步骤 1-6 应至少重复 3 遍才能最终判断再现性。臭氧发生器在两段连续的三次测量操作之间应关闭 10min。在 10min 的停机后发生器重启时,6.4.3.1 中所有的测试参数都应重新确认。在停机十分钟期间供气应保持流量。每次测试的臭氧浓度和产量相对于三次测试平均值的偏差应该在 5%以内。最终测试结果是三次测试的平均值。

6.4.4 臭氧产量、浓度和进气流量报告

性能数据应该以图形和(或)表格的形式表现臭氧产量、浓度和进气流量的

关系。6.3 节中规定的条件均应写入报告。从开机到达到臭氧产量输出达到稳定时的最大时间应该写入报告。

最初达到 6.4.3.2 要求的三次采样决定了达到稳定的时间。

7 操作指南及信息

所有制造商指定的测试条件应包含在 7.1 节内。

臭氧发生器性能说明必须明确臭氧浓度和产量。臭氧发生器性能说明必须基于 6.3 节规定的测试条件。制造商公布的条件应与测试条件一致。

7.1 安装、操作及维护指南

每台臭氧发生器按本标准进行测试时，制造商应提供完整的启动及操作指南。制造商应向用户提供书面的操作说明，或当制造商不推荐用户自己维护时，制造商应书面告知用户如何获得维护和维修服务。

制造商提供的信息应包括：

- 制造商名称及邮寄地址。如果没有授权的代理商网络，那么应提供制造商的电话号码和传真号码；

- 声明应注意系统和安装需求应符合联邦、州及地方法律及规定；

- 每个臭氧发生系统一份分解的图纸及部件清单；

- 型号或交易名称；

- 声明中需要强调系统符合 NSF/ANSI 222 臭氧发生器，指定的臭氧产量申明需要通过测试数据进行验证；

- 性能数据以图形和（或）表格的形式表达臭氧产量、浓度和进气流量的关系；

- 对于使用 UV 发生器的系统，应申明：“UV 发生器的臭氧产量随着环境温度、相对湿度和海拔的升高而下降”；

- 声明需要说明臭氧发生器对水的处理效果并未进行评估；

- 测试条件包括，但不局限于：

- 环境空气温度；

- 冷却剂温度；

- 冷却剂流量；

- 进气温度；

- 进气种类（环境空气，干空气或氧气）；

- 进气露点；

- 发生单元压力；

- 电源特性（频率、电压和电流）；

- 系统产量稳定的最小时间；

- 包括推荐的水管系统连接的解释或者原理图的详细安装说明；

- 电气要求，包括频率、电压和电流；

- 对于产品应用的限制或局限描述说明；

- 随着海拔的升高，环境氧气浓度下降。使用空气作为气源的臭氧发生器性能会随着进气中氧气浓度的下降而下降。可向制造商咨询臭氧发生器在较高海拔时的性能信息。

7.2 铭牌

应在臭氧发生器显眼的位置设一个永久的牌子或者标签，包括以下内容：

- 设备名称及主要功能描述
- 型号或交易名称
- 序列号或生产日期
- 制造商名称和通讯地址
- 电源要求（电压，电流，频率及相位）
- 声明臭氧发生器对于水的处理效果是未经评估的
- 声明系统中臭氧发生器的产量经过了测试数据的验证和证明，符合标准 NSF/ANSI 222。

7.3 性能数据表

潜在客户可以方便得到臭氧发生器的性能数据，包括以下信息：

- 声明系统中臭氧发生器的性能经过了测试数据的验证和证明，符合标准 NSF/ANSI 222。
- 性能数据以图形和表格的形式表现臭氧产量、浓度和进气流量的关系（例如表 A3-A6 和图 A2 和 A3）
- 声明臭氧发生器对于水的处理效果是未经评估的
- “臭氧发生器的性能会因为操作条件与测试条件不一致而发生变化”
- 对于 UV 臭氧发生器：“臭氧产量会因为温度、相对湿度和海拔的升高而减小”
- 测试条件包括，但不局限于：
 - 环境空气温度；
 - 冷却剂温度；
 - 冷却剂流量；
 - 进气温度；
 - 进气种类（环境空气，干空气或氧气）；
 - 进气露点；
 - 发生单元压力；
 - 电源特性（频率、电压和电流）；
 - 系统产量稳定的最短时间；
- 电力要求包括电压、电流和频率
- 主要操作和维护需求包括但不限于：
 - 用户职责
 - 零部件和售后服务
- 制造商完整名称、地址和联系电话
- “随着海拔的升高，环境氧气浓度下降。使用空气作为气源的臭氧发生器性能会随着进气中氧气浓度的下降而下降。可向制造商咨询臭氧发生器在较高海拔时的性能信息。”

附录 A

臭氧浓度的转换系数

20°C 一个标准大气压

20°C和 1 个标准大气压时的干燥空气密度 = 1.205 g/L

20°C和 1 个标准大气压时的气态氧气密度 = 1.330 g/L

20°C和 1 个标准大气压时的臭氧密度 = 2.078 g/L

1 立方英尺 28.32 L

表 A1-干空气中的臭氧

质量体积浓度 Mg/L	重量百分比 %Wt	体积百分比 %Vol	重量百万分比 PPM(Wt)	体积百万分比 PPM(Vol)
1.000	0.08296	0.04812	829.6	481.2
12.10	1.000	0.5823	10000	5823
20.78	1.712	1.000	17121	10000
0.001210	0.0001000	0.00005823	1.000	0.5823
0.002078	0.0001712	0.0001000	1.7121	1.000

表 A2-氧气中的臭氧

质量体积浓度 Mg/L	重量百分比 %Wt	体积百分比 %Vol	重量百万分比 PPM(Wt)	体积百万分比 PPM(Vol)
1.000	0.07517	0.04812	751.7	481.2
13.35	1.000	0.6424	10000	6424
20.78	1.554	1.000	15537	10000
0.001335	0.0001000	0.00006424	1.000	0.6424
0.002078	0.0001554	0.0001000	1.554	1.000

图 A1

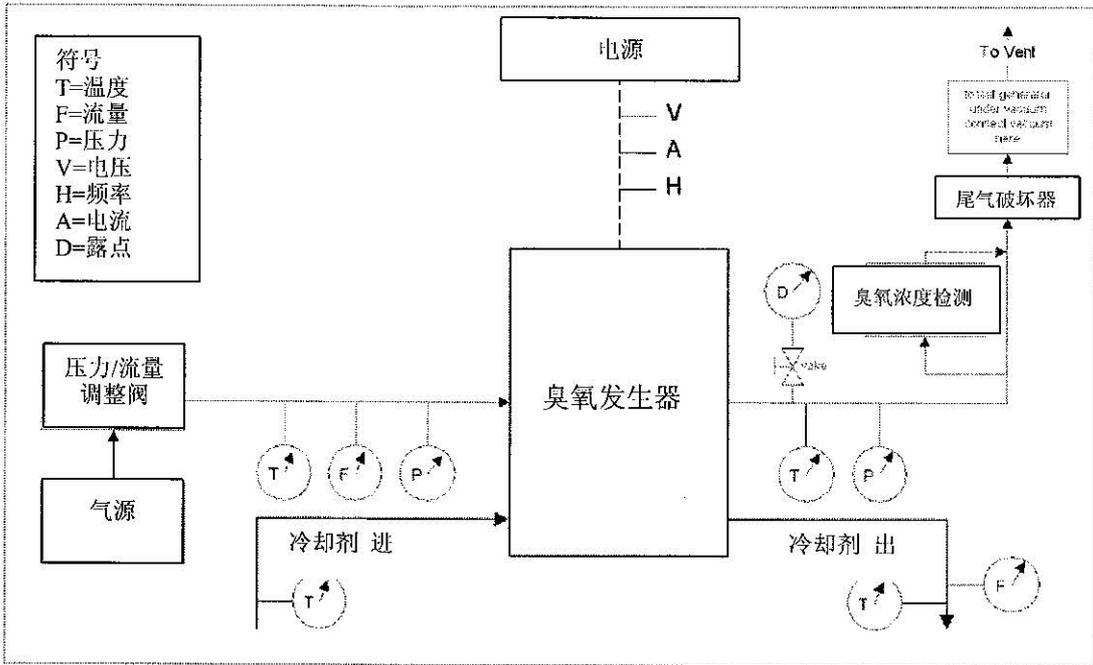


表 3 性能数据报告的参考格式 1

AK70-数据采集表格

测试信息	
公司名称	Acme 臭氧公司
型号	AK70
序列号	XYZ-123
供电	240 VAC 60HZ
测试日期	6/15/2000
测试人员	John Smith
测试日期气温	20°C (68°F)
进气温度	20°C (68°F)
进气压力	76.35cm 汞柱
进气种类	PSA 制氧机
进气露点	-73°C (-100°F)
进气密度 (g/m ³)	1095.47
放电单元压力	7.0 kPa (1.0psi)
最小系统稳定时间	20min
发生器功率设定值	100%
试验室	臭氧测试有限公司
分析仪	INUSA HC (2/18/99 校定)
备注	

表 4-性能数据报告的参考格式 2

检测点	设定 SCFH	实测 SCFH	g/Nm ³	g/h	%Wt	进气温度	放电室压力 PSIA	环境温度	产量水平 1-100%
1	8	8.0	93.5	21.2	7.9%	20°C	14.7	20°C	100
2	16	16.0	86.1	39.0	7.3%	20°C	14.7	20°C	100
3	24	24.0	77.2	52.4	6.6%	20°C	14.7	20°C	100
4	32	32.0	70.0	63.4	6.0%	20°C	14.7	20°C	100
5	40	40.0	63.5	71.9	5.5%	20°C	14.7	20°C	100
6	48	48.0	58.2	79.1	5.0%	20°C	14.7	20°C	100
7	56	56.0	51.9	82.3	4.5%	20°C	14.7	20°C	100
8	64	64.0	45.3	82.0	4.0%	20°C	14.7	20°C	100
9	72	72.0	38.3	78.0	3.4%	20°C	14.7	20°C	100
10	80	80.0	32.7	74.0	2.9%	20°C	14.7	20°C	100

备注

- 1 SCFH 已经过流量计出口压力校正
- 2 本测试认为流量计出口压力等于臭氧发生单元压力

表 A5-性能数据报告的参考格式 3

Acme 臭氧公司

型号: AK70, 系列号: XYZ-123

流量 SCFH	浓度 g/m ³	产量 g/h	%Wt	进气氧 气含量		测试信息
8	93.5	21.2	7.9%	95.0%	试验室	臭氧测试公司
16	86.1	39.0	7.3%	95.0%	测试人员	J. Doe
24	77.2	52.4	6.6%	93.0%	分析仪	IN USA HC (2/18/99 校定)
32	70	63.4	6.0%	93.0%	测试日期	6/15/2000
40	63.5	71.9	5.5%	93.0%	测试当天气温	20°C
48	58.2	79.1	5.0%	93.0%	测试当天压力	76.35cm 汞柱
56	51.9	82.3	4.5%	93.0%	进气气源	PSA 制氧机
64	45.3	82.0	4.0%	90.0%	进气温度	20°C (68°F)
72	38.3	78.0	3.4%	88.0%	进气露点	-73°C (-100°F)
80	32.7	74.0	2.9%	85.0%	放电单元压力	7.0kPa (1.0psi)
					外接电源	240 VAC 60HZ
					发生器功率	100%
					系统稳定最短时间	20min

图 A2-性能数据报告的参考图 1 (流量和产量)

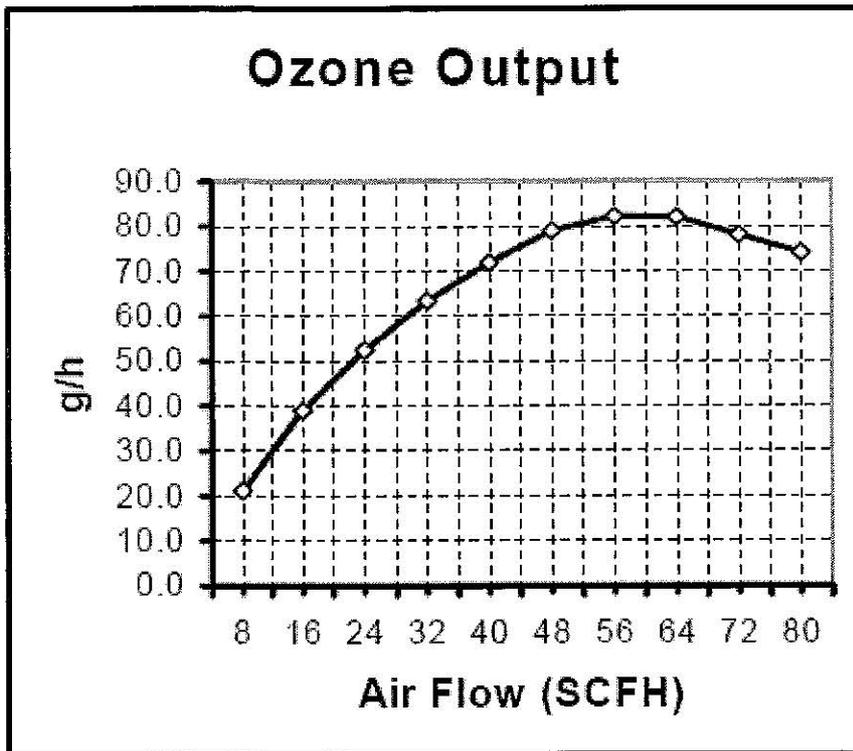


图 A3-性能数据报告的参考图 2 (流量和浓度)

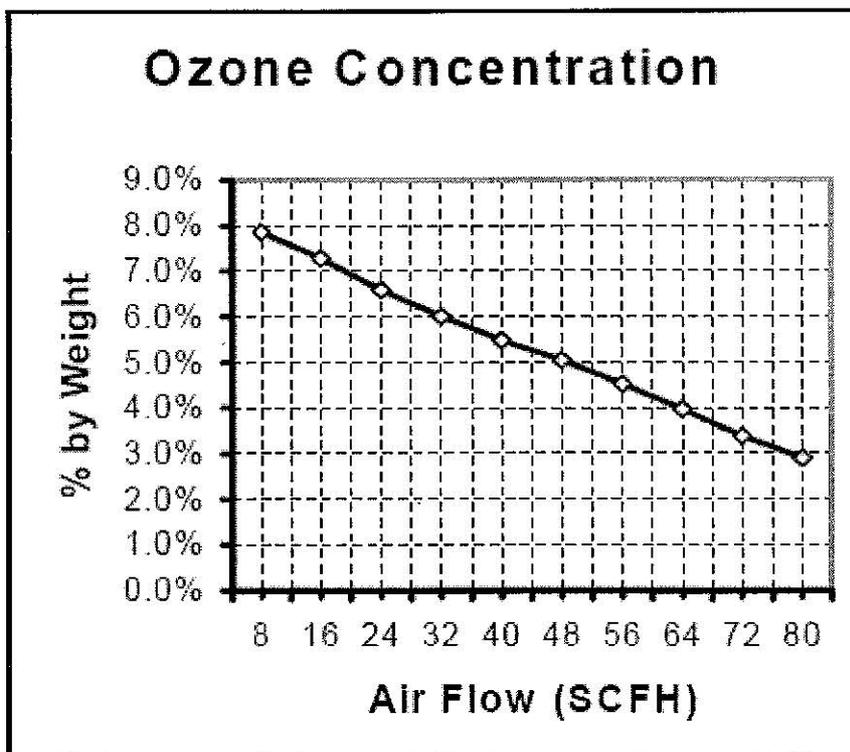


表 A6-性能数据报告参考格式 4

本表格含有的常数用于公式中	
空气密度 (g/m ³)	992.5
氧气密度 (g/m ³)	1095.47
臭氧密度 (g/m ³)	1711.54
M ³ /ft ³	0.02831685
大气压力	1489kPa (14.7PSIA)
标准温度	20°C (68°F)

注：气体密度数值所取的状态是 20°C (68°F) 和 1489kPa (14.7PSIA)

同方水务工程公司臭氧产业部 杜志鹏 译