

第 6 章 臭氧发生器

臭氧不能够储存，因而无法得到标准的臭氧样品。臭氧必须在需要时即时制备并立刻使用。臭氧治疗师们必须有一个安全、无毒、可靠和可以重复使用的臭氧发生器。制造工业在提供这些需要时，必须对其制造材料给予最大限度的关注，使用最好的抗臭氧材料如 INOX316L 不锈钢，2 级纯钛，耐热玻璃，纯聚四氟乙烯树脂，Viton 或医用硅酮，要避免使用含有添加剂的聚氯乙烯（PVC）或其他塑料材料，添加剂会在臭氧化处理时释放出来。即使是 $>4\mu\text{m}$ 的经过重度阳极化处理的铝，也是不理想的，次于不锈钢材料。光度计测量法的检测值与经典的碘测量法不同。

因为激活的活性碳不耐用，所以减压器必须充满掺入钨、镍和锰氧化物的基质材料，并在电热恒温箱内保持 $+70^{\circ}\text{C}$ 。正如我们在 $\text{O}_2\text{-O}_3$ 的恒流体外循环中所经历的那样，这种装置可工作许多年。如果耗尽的气体混合物 ($\text{O}_2 + \text{O}_3$) 中含有水蒸气，必须将水蒸气除去，因为水蒸气破坏减压器。这种情况下，我们使用的第一个防水阀浸于冰水中，第二个阀充满可以回收的硅胶。

如图 5 所示，医用臭氧发生器由 2 至 4 个串联的高电压管组成。这些高电压管连接到一个能建立 4000V 或 13 000V 电压差的变阻器（老式）或是电子电路（新型）上。对于更多的技术细节，可参考 Stiehl 的报告（1998）。在过量氧分子存在的情况下，释放的电荷将氧分子分解成氧原子，形成了三原子态臭氧。发生器的入口端输入医用纯氧，在出口端收集轻度高压的气体混合物，其中含有超过 5% 臭氧和 95% 氧气（表 4）。臭氧的合成需要每摩尔 140 千焦耳的能量 ($\Delta H=140\text{kJ/mol}$)，而分解则释放同样多的能量。未被利用的臭氧不能弥散到环境中，将在含有结合于基质的重金属氧化物的减压器中，通过催化反应分解成氧气。

出于医用目的，不能用空气制备臭氧，因为空气中含有约 78% 的氮气 (N_2)，将会形成不定量的毒性很强的氮氧化物 (NO_2)。应该指出，当臭氧不存在或已被用尽时，空气的加入是无害的，因为氮分子解离成原子时需要的能量远远高于臭氧分解释放的能量。

臭氧的浓度由 3 个参数决定。

1. 电压 最终的臭氧浓度随着电压增大而升高，虽然是以一种不成比例的形式升高。
2. 电极间的距离 这可用于调节臭氧浓度，使其逐渐增高。
3. 氧气流量 氧气流量表示为每分钟流过气体的升数 (L/min)，通常在 $1\sim 10\text{L/min}$ 之间调节。臭氧的终浓度与氧气的流量成反比。因此，每个时间单位的氧气流量越高，臭氧的浓度就越低，反之亦然（表 4）。

图 6 显示这些参数之间是以一种复杂的方式相互作用的双对数图。在 3 种电压（5、7 和 14kV），恒定放电距离为 1mm 的条件下，通过检测绘制了 3 条不同的曲线。只有当电压达到最大时，臭氧的浓度达到最大，为 $100\mu\text{g/ml}$ 。然而，随着氧气流量在 $1\sim 10\text{L}$ 之间变动时，在 5kV 的最低电压下，氧气流量是 1L/min 时，最大的臭氧浓度



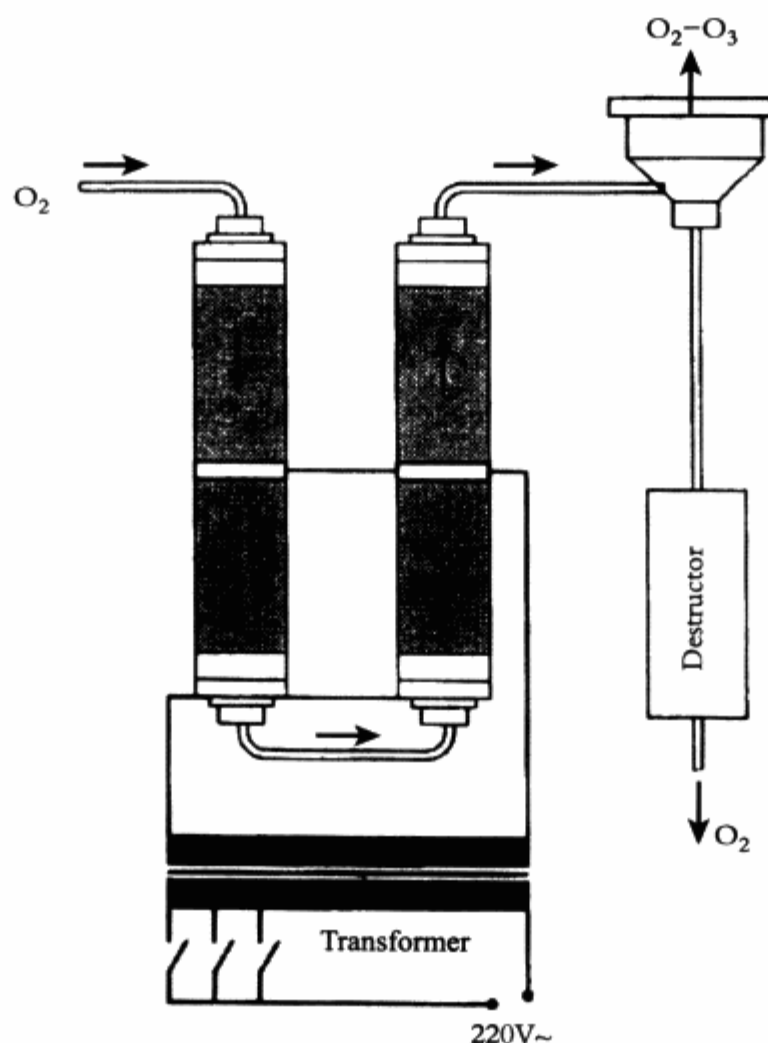


图 5. 臭氧发生器示意图：O₂ 入口、转换器、臭氧减灭装置、O₂+O₃ 收集喷口。臭氧产生于氧气流过两个导管时。

约是 30 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。一般地，当臭氧的浓度在 2~3 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 和 100~110 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 之间变化时，足够用于医学用途（有用范围是 3~80 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ）。当需要在于出口端收集大体积（每 3.1 秒钟产生 50ml）气体时，市场上的一种氧气流量只有 1L/min 的臭氧发生器，就显出了明显的缺点。显而易见，在使用臭氧发生器之前，臭氧治疗师们应该进修严格的教学课程，来获得个人的经验。

表 4. 对臭氧治疗师有用的基本概念。

O ₂ -O ₃ (相对百分比)	氧气流量 (ml/min)	电压差 (ΔV)
100.0%~0%	+++	-
99.5%~0.5%	++	+
95.0%~5.0%	+	+++

计算臭氧剂量的严格标准

- 气体总体积 (O₂+O₃)
- 臭氧浓度 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)
- 气压 (mmHg) (不同于正常大气压)

臭氧总量等于气体流量 (ml) 乘以臭氧浓度 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

例如，当体积是 100ml，臭氧浓度是 40 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 时，总的臭氧剂量为：100 \times 40=4000 μg 或 4.0mg。



推动臭氧治疗技术在中国的普及，规范有序的开展应用
中国臭氧治疗资料和设备采购网 www.syzly.com.cn

免费技术咨询热线：4006+828+820 QQ:415396100

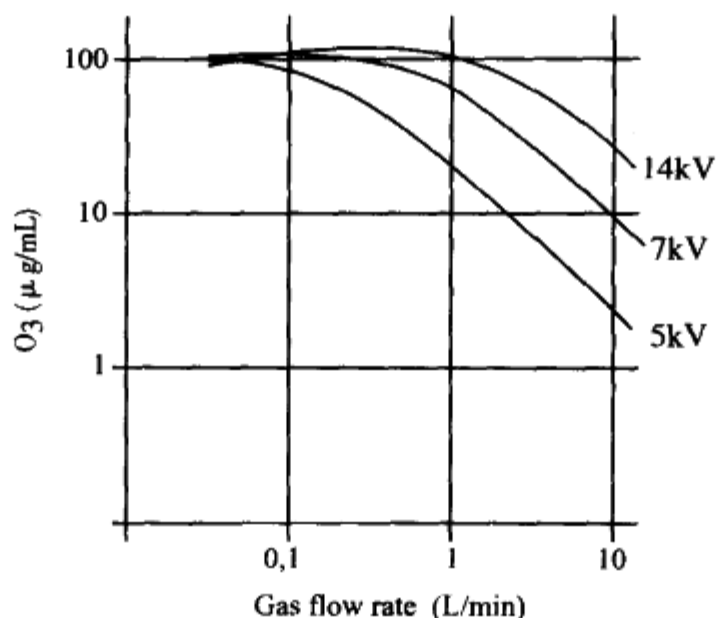


图 6. 浓度对流量图表。5kV、7kV 和 14kV 和 1mm 电极距离条件下，不同的氧气流量产生了不同浓度的臭氧 (Viebahn, 1999)。

一名好的臭氧治疗师，如果使用效果差的臭氧发生器，只会得到很糟糕的治疗效果。因此，需要对仪器进行定期的维修（每年或每 100~150 个小时），包括使用碘滴定法对光度计进行质量控制，以确保准确浓度臭氧的输送。

当今，臭氧发生器不断地经历着概念上和技术上的改进。我愿意忠告那些毫无经验的内科医生们，在购买仪器之前，他（她）们应该相当熟悉仪器所有的性能。

最后，如果制造商能够制造臭氧浓度为 2.5、5、10、20 和 30µg/ml 的小型便携式臭氧发生器，将会非常有用。在身为内科医生的臭氧治疗师们的监督下，这一浓度范围的臭氧，适合于家庭中，对患者进行治疗和护理，如直肠灌注、浅表处理、准全身暴露，以及为患者制备消毒水或油等。

